



A cura di

MARIA CLAUDIA LUCCHETTI, MARIA FRANCESCA RENZI

QUALITÀ, INNOVAZIONE
E SOSTENIBILITÀ NELLA
FILIERA AGRO-ALIMENTARE

Il contributo delle Scienze Merceologiche



Roma TrE-Press
2025





Dipartimento di Economia Aziendale



- 1 *Analisi di bilancio. Un percorso di sintesi*
Marco Tutino
- 2 *Sindacati in un mondo globale*
Giampiero Bianchi
- 3 *Ideazione, sviluppo e marketing dei nuovi prodotti*
Carlo A. Pratesi, Andrea Geremicca
- 4 *Studi e ricerche del Dipartimento di Economia Aziendale 2023*
a cura di Alberto Pezzi
- 5 *Il consumatore: responsabile, attivo, partecipativo*
a cura di Fabio Bassan, Maddalena Rabitti
- 6 *Profili ragionieristici della contabilità nazionale*
Claudio Columbano
- 7 *Investment advice and sustainability. A survey on professional-client interactions*
Paola Soccorso, Massimo Caratelli
- 8 *Studi e Ricerche del Dipartimento di Economia Aziendale 2024*
a cura di Alberto Pezzi

Università degli Studi Roma Tre
Dipartimento di Economia Aziendale



9

COLLANA DEL DIPARTIMENTO
DI ECONOMIA AZIENDALE

QUALITÀ, INNOVAZIONE E SOSTENIBILITÀ NELLA FILIERA AGRO-ALIMENTARE

Il contributo delle Scienze Merceologiche

*Atti del Convegno dell'Associazione Italiana di Scienze Merceologiche
16-18 novembre 2023*

A cura di

MARIA CLAUDIA LUCCHETTI, MARIA FRANCESCA RENZI



Roma TrE-Press
2025

COLLANA DEL DIPARTIMENTO DI ECONOMIA AZIENDALE

Direttore

Alberto Pezzi

Comitato scientifico

Fabio Bassan, Elena Bellisario, Massimo Caratelli, Paolo Carbone, Marisa Cenci, Paola Demartini, Giustino Di Cecco, Franco Fiordelisi, Fabio Giulio Grandis, Maria Claudia Lucchetti, Michela Marchiori, Giuseppe Marini, Carlo Mottura, Tiziano Onesti, Mauro Paoloni, Alberto Pezzi, Carlo Alberto Pratesi, Daniele Previati, Sabrina Pucci, Maddalena Rabitti, Maria Francesca Renzi, Giuseppe Stemperini, Marco Tutino, Paolo Valensise.

Comitato editoriale

Giorgia Biferali, Massimo Caratelli, Rita Maria Michela D'Errico, Francesca Faggioni, Andrea Gheno, Lucia Marchegiani, Olimpia Martucci, Marco Tutino.

Coordinamento editoriale

Gruppo di Lavoro Roma Tr*E-press*©

Impaginazione e cura editoriale: Start Cantiere Grafico

Elaborazione grafica della copertina: Mosquito mosquitoroma.it **MOSQUITO.**

Edizioni: Roma Tr*E-press*©

Roma, marzo 2025

ISBN: 979-12-5977-448-4

<http://romatrepress.uniroma3.it>

Quest'opera è assoggettata alla disciplina Creative Commons attribution 4.0 International Licence (CC BY-NC-ND 4.0) che impone l'attribuzione della paternità dell'opera, proibisce di alterarla, trasformarla o usarla per produrre un'altra opera, e ne esclude l'uso per ricavarne un profitto commerciale.



L'attività della *Roma TrE-press* è svolta nell'ambito della
Fondazione Roma Tre-Education, piazza della Repubblica 10, 00185 Roma.

Collana del Dipartimento di Economia Aziendale

Editorial Policy e descrizione dello scopo della Collana

La collana nasce con lo scopo di contribuire allo sviluppo e alla diffusione delle tematiche di gestione d'impresa: economico-aziendali, finanziarie, giuridiche e matematiche, valorizzando il pluralismo culturale e l'interdisciplinarietà presenti nel Dipartimento.

La collana è aperta a contributi che supportino il miglioramento della didattica dei corsi di studio universitari e post-universitari e favoriscano il dibattito tra il mondo delle imprese e il mondo accademico.

La collana accoglie contributi monografici e collettanei.

I volumi pubblicati nella collana sono sottoposti a referaggio affidato al Comitato editoriale.

I volumi pubblicati dalla collana sono liberamente accessibili in formato elettronico sul sito dell'editore Roma TrE-Press. La versione a stampa è acquistabile in modalità "Print on demand".

Le pubblicazioni hanno una numerazione progressiva ed eventuali richiami o citazioni ad essi devono riportare la denominazione estesa del contributo a cui si fa riferimento.

Indice

Smart Farming and Industry 5.0: enabling technologies and total productive maintenance for human-machine collaboration and sustainable production	15
di Cristina Ciliberto, Katarzyna Szopik-Depczyńska, Giuseppe Ioppolo	
Life cycle assessment of soilless systems: a systematic literature review	31
di Antonio Licastro, Roberta Salomone, Giovanni Mondello, Grazia Calabrò	
Analysis of the ship recycling market. Enabling factors to advance a new european ship recycling market	51
di Francesco Tola, Enrico Maria Mosconi, Mattia Gianvincenzi, Mariarita Tarantino, Alessio Matarcera	
Increasing circularity: a systematic review of the sustainable packaging transition towards the european regulation	65
di Mariarita Tarantino, Enrico Maria Mosconi, Francesco Tola, Mattia Gianvincenzi, Alessio Matarcera	
Automazione e machine learning per la tracciabilità e rintracciabilità del caffè	85
di Leonardo Agnusdei	
Biodistricts, model for local development: a bibliometric analysis	103
di Mariagrazia Provenzano, Francesco Pacchera, Stefano Poponi, Alessandro Ruggieri	
Blockchain technology applied to food chains to avoid counterfeiting. The case of the Consortium Etna Doc	121
di Agata Matarazzo, Sergio Arfò, Grzegorz Suwała, Carla Zarbà, Gaetano Chinnici	
Antioxidant value and functional properties of a traditional senegalese food flour	141
di Chiara Vita, Gabriele Feligioni, Leonardo Borsacchi, Patrizia Pinelli	
Eco-Industrial Park towards Eco-Agricultural Park: the implementation of the symbiotic relationships in a dairy farm	151
di Maria Rosaria Sessa, Ornella Malandrino, Enzaemilia Cavallaro	
Dall'Agricoltura 4.0 all'Agricoltura 5.0: le tecnologie	169
di Angela Carelli, Ilenia Bravo, Patrizia Papetti	
Dall'Agricoltura 4.0 all'Agricoltura 5.0: principali progetti di ricerca italiani	183
di Angela Carelli, Ilenia Bravo, Patrizia Papetti	

Circular economy in the agri-food sector: an environmental and social analysis from portuguese companies di Federica Scandurra, Roberta Salomone, Sandra Caeiro, Ana Pinto de Moura	207
Enoturismo e promozione dei vini del territorio. Indagine presso le aziende vitivinicole della provincia di Torino in Piemonte di Giovanni Peira, Riccardo Beltramo, Alessandro Bonadonna, Giacomo Pasino	221
Successful factors of the European Union Renewable Energy Communities: an overview di Leonardo Orsitto, Melania Riefolo, Mariarosaria Lombardi, Nicola Faccilongo	237
Focus sull'analisi di ciclo di vita applicata all'olio di girasole di Rosalia Stella Evola, Enrica Vesce, Riccardo Beltramo	259
I benefici delle certificazioni ISO 14001 ed EMAS nel settore delle carni in Italia: un'analisi empirica di Andrea Del Chicca, Andrea Apicella, Biasino Farace, Angela Tarabella	277
I nuovi Standard GRI nel settore agroalimentare. Una content analysis sulla rendicontazione di una società multinazionale italiana di Angela Tarabella, Serena Sebastiani	293
I polifenoli come indicatori di qualità di vini autoctoni siciliani di Mattia Rapa, Vanessa Giannetti, Maurizio Boccacci Mariani, Martina Di Fabio	313
Il mercato italiano del cibo pronto per animali di affezione: un settore merceologico in continua evoluzione di Giancarlo Palumbo	323
Il Progetto ILCIDAF per lo sviluppo di un database italiano di Life Cycle Inventory dei prodotti agroalimentari: la fase di panificazione di Bruno Notarnicola, Pietro Alexander Renzulli, Francesco Astuto, Rosa Di Capua, Gianfranco Umile Spizzirri, Maurizio De Molfetta, Donatello Fosco	337
Il settore vitivinicolo tra innovazione e sostenibilità: una mappatura dello stato della ricerca di Maria Giovina Pasca, Giulia Padovani	353
Impatto della tostatura sulla composizione del caffè: valutazione della qualità attraverso specifici marcatori di prodotto e di processo di Vanessa Giannetti, Maurizio Boccacci Mariani, Mattia Rapa	373
Indagine sull'atteggiamento dei consumatori italiani nei confronti di origine e sostenibilità dei prodotti alimentari e sulla conoscenza dei marchi regionali di qualità del Friuli Venezia Giulia di Paola Geatti, Alberto Bertossi, Francesco Marangon	385

Indagine sulle attitudini dei consumatori residenti in Sardegna all'acquisto di prodotti locali	403
di Giusy Lai, Gavina Manca, Giacomo Del Chiappa	
Survey on purchasing methods of food products in different european regions	417
di Agata Matarazzo, Sergio Arfò, Grzegor Suwała	
Improving sustainability in the agri-food sector: circular economy indicators as tools for evaluation and optimization	445
di Flavia Capolini, Alessia Acampora, Olimpia Martucci, Maria Claudia Lucchetti	
Indicators for circular waste management in the agri-food sector: the application to a bio-district	461
di Francesco Pacchera, Stefano Poponi, Gabriella Arcese, Alessandro Ruggieri	
Piloting change: exploring the SIRCLES project's circular economy model for biowaste in the mediterranean	475
di Leonardo Borsacchi, Gabriele Feligioni, Camilla Guasti, Daniela Tacconi	
Innovazione e automazione dei processi di vendita dei prodotti alimentari della GDO	489
di Carlo Amendola, Simone La Bella, Alessandro Gennaro, Francesco Crenca	
Innovazione, sinergia e circolarità nel settore agro-forestale: il Progetto PS-GO BIOACTAM	505
di Gabriele Simone, Margherita Campo, Chiara Cassiani, Francesca Ieri, Nadia Mulinacci, Silvia Urciuoli, Rodolfo Picchio, Rachele Venanzi, Lorenzo Moncini	
Water and its (un)conscious consumption: consumers and their water footprint in food products	527
di Erica Varese, Maria Chiara Cesarani, Szymon Jarosz, Magdalena Wojnarowska	
L'applicazione della sostenibilità nelle PMI agroalimentari digitalizzate: il caso Sfera Agricola	543
di Biasino Farace, Angela Tarabella	
L'economia circolare quale vettore della sostenibilità finanziaria: un'analisi empirica nel settore agroalimentare	561
di Benedetta Esposito, Daniela Sica, Stefania Supino, Ornella Malandrino	
The impact of precision agriculture ecosystems on farming sustainability: an empirical analysis of italian winemakers	575
di Marco Savastano	
The integration of Blockchain technologies in the cocoa supply chain: state of art and emerging opportunities	589
di Andrea Apicella, Angela Tarabella	

La carne coltivata nella società: percezione dei consumatori e fattori chiave abilitanti di Federica Bisceglia, Laura Di Pietro, Roberta Guglielmetti Mugion, Veronica Ungaro	603
LCA in agricultural experimentation: the case of the tomato production di Giulio Mario Cappelletti, Giuseppe Martino Nicoletti, Carlo Russo	629
The measurement of circularity in the agri-food sector by the UNI/TS 11820:2022 di Christian Bux, Biasino Farace, Andrea Apicella	641
La percezione dei giovani adulti dell'impatto ambientale del sistema alimentare e la loro disponibilità a modificare la propria dieta verso modelli più sostenibili: uno studio empirico di Barbara Campisi, Gianluigi Gallenti, Matteo Carzedda, Paolo Bogoni	663
La sostenibilità nel settore agroalimentare: una sintesi bibliometrica della letteratura di Veronica Ungaro, Atifa Amin, Federica Bisceglia, Roberta Guglielmetti Mugion	691
La Supply Chain dei prodotti della catena del fresco: impatti ambientali e opportunità di miglioramento di Sara Toniolo, Ilenia Bravo, Ivan Russo, Patrizia Papetti	713
Le strategie di economia circolare applicate al settore dell'acquacoltura: analisi dello stato dell'arte di Maria Cozzolino, Roberta Salomone, Giovanni Mondello, Teresa Gulotta	735
Life cycle inventory della produzione di clementine in Calabria: modellizzazione dell'inventario della fase agricola attraverso la raccolta di dati primari di Giacomo Falcone, Giovanni Gulisano, Maria Ranieri, Alfio Strano	763
Lo sviluppo del mercato della carne sintetica: rassegna sulle potenzialità e sui limiti di Ilenia Bravo, Ilenia Colamatteo, Angela Carelli, Patrizia Papetti, Lucio Cappelli	785
Improving quality and compliance of fruit juice processing: a case study of a women-led social enterprise in Senegal di Leonardo Borsacchi, Gabriele Feligioni, Camilla Guasti	805
Improving sustainability in the food supply chain of the healthcare sector: the ISO 22000 and ISO 28000 adoption di Carlotta D'Alessandro, Uwakmfon Promise Offiong, Katarzyna Szopik-Depczyńska, Giuseppe Ioppolo	817

Migliorare lo sviluppo locale nelle aree montane marginali attraverso i prodotti alimentari tipici. Il caso del Bettelmatt nelle alpi italiane nord-occidentali	831
di Alessandro Bonadonna, Stefano Duglio	
Mitigating climate change through soil carbon sequestration: a literature synthesis on agricultural LCAs	845
di Rossana Strippoli, Silvia Zingale, Teodoro Gallucci, Paolo Guarnaccia, Carlo Ingrao, Giovanni Lagioia	
Monitoraggio di IPA in distillato di legno per l'applicazione in campo agronomico	861
di Chiara Vita, Lorenzo Venturini, Samuel Pelacani, Marco Sarti, Giovanni Cappelli, Nicola Mucci, Giulio Arcangeli, Riccardo Gori, Stefano Dugheri	
Multifunzionalità di scarti agroindustriali della filiera del melograno applicando principi di economia circolare	873
di Chiara Vita, Leonardo Borsacchi, Patrizia Pinelli, Annalisa Romani	
Nutrition and sustainability in the agro-industrial supply chain. A comparative approach for conventional, organic and functional pasta production	883
di Nicola Minafra, Tiziana Crovella, Giovanni Lagioia, Annarita Paiano	
Olivicoltura circolare: prodotti innovativi funzionali per la salute e lo sport	899
di Silvia Urciuoli, Chiara Cassiani, Pamela Vignolini, Patrizia Pinelli	
Online Food Delivery and sustainability: what is the consumer perception? An empirical analysis among italian consumers	917
di Federica Murmura, Giada Pierli, Laura Bravi, Lolita Liberatore	
Possibili effetti benefici del consumo di Feijoa: studio multidisciplinare di frutti di diverse cultivar per potenziali applicazioni in settori merceologici differenziati	937
di Margherita Campo, Pamela Vignolini, Patrizia Pinelli, Chiara Cassiani, Irene Falsetti, Gaia Palmi, Teresa Iantomasi, Maria Luisa Brandi, Carolina Santilli, Stefano Biricolto, Edgardo Giordani, Massimo Gori	
Realizzazione di una polvere lievitante innovativa per la preparazione di biscotti funzionali	957
di Donatella Restuccia, Gianfranco Umile Spizzirri, Maria Lisa Clodoveo, Pasquale Crupi, Maria Martuscelli, Luigi Esposito, Francesca Aiello	
On the recovery of wastewater from anaerobic digestion and composting plants of organic waste by material flow analysis	983
di Giovanni Lagioia, Teodoro Gallucci, Christian Bux, Maria Pia Spinelli, Vera Amicarelli	

Revisione dei percorsi di Carbon Neutrality alla luce della futura norma ISO 14068: limiti e prospettive di ricerca per la sua efficace implementazione di Alessandro Manzardo, Filippo Zuliani, Andrea Fedele, Alessandro Marson, Saverio De Franceschi	999
Ristorazione collettiva nelle scuole e negli ospedali: monitoraggio della qualità della dieta mediante colorimetria a riflettanza di Antonella Calabretti, Giulio Barocco, Barbara Campisi, Paola Masotti, Paolo Bogoni	1013
Wastes and by-products of the olive oil supply chain: state of art of treatment technologies and eco-efficiency assessment tools di Eleonora Recupero, Giuseppe Saija, Giovanni Mondello	1031
Selezione di estratti naturali da economia circolare come potenziali ingredienti attivi per la produzione di polimeri per il food packaging di Pamela Vignolini, Margherita Campo, Silvia Urciuoli, Andrea Lombardi, Roberta Bernini	1059
Synergies between the agri-food sector and the cosmetic industry through circular economy: evidences from a literature review di Alice Mondello, Roberta Salomone, Giovanni Mondello	1075
Blockchain based solutions for food traceability: a scoping review di Irina Gorelova, Francesco Bellini, Marco Ruggeri, Fabrizio D'Ascenzo	1091
Sostenibilità nella filiera bovina piemontese: la percezione dei giovani consumatori nei confronti dei prodotti ottenuti da bovini alimentati ad erba-fieno di Giorgio Mina, Rosalia Stella Evola, Enrica Vesce, Alessandro Bonadonna, Giovanni Peira	1121
Sustainability or greenwashing? The role of Life Cycle Assessment in the ESG narratives of the agrifood sector di Giuliana Vinci, Fabrizio D'Ascenzo, Marco Ruggeri, Mary Giò Zaki	1131
Stime regionalizzate delle emissioni enteriche di metano da bovini allevati sul territorio italiano di Bruno Notarnicola, Gianfranco Umile Spizzirri, Pietro Alexander Renzulli, Francesco Astuto, Rosa Di Capua, Maurizio De Molfetta, Donatello Fosco	1143
Responsible communication strategies in the beer industry: an analysis of communication practices on major brewing companies' websites in Italy di Andrea Apicella, Biasino Farace, Angela Tarabella	1165
Consumer perception studies on cultured meat: a critical systematic review di Tommaso Vito, Caterina Tricase, Roberto Leonardo Rana	1181
Development of regionalised inventory data for Life Cycle Assessment in agri-food sector: the case of italian olive production di Giovanni Mondello, Teresa Maria Gulotta, Roberta Salomone, Patrizia Primerano, Giuseppe Saija	1199

Development of innovative supply chains for the valorization of Carob cultivation	1219
di Giulio Paolo Agnusdei, Federica De Leo, Marcello Ruberti, Stefania Mas-sari, Pier Paolo Miglietta	
An empirical analysis of consumers to understand the importance of labelling and traceability in extra virgin olive oil	1233
di Francesco Pacchera, Mariagrazia Provenzano, Cecilia Silvestri, Alessandro Ruggieri	
A theoretical eco-design framework toward the european battery regulation	1249
di Mattia Gianvincenzi, Marco Marconi, Enrico Maria Mosconi, Francesco Tola, Mariarita Tarantino, Alessio Matacera	
Valore merceologico e indice di gradimento dei prodotti ittici trasformati forniti nella refezione scolastica	1265
di Giancarlo Palumbo, Isabella Maria De Clemente	
Valutazione degli impatti sociali secondo l'approccio LCT: best practices per la filiera agroalimentare	1277
di Gabriella Arcese, Stefano Poponi, Maria Giovina Pasca, Francesco Pac-chera, Giulia Padovani, Laura Di Pietro, Maria Claudia Lucchetti	
Valutazione dell'impatto ambientale e dei vantaggi economici della pro-duzione di bioidrogeno da rifiuti agroalimentari	1291
di Ilaria Goglia, Alessia Acampora, Roberto Merli	
Verso la costruzione di dataset italiani per l'LCA del vino: la fase di vini-ficazione	1307
di Manuela D'Eusanio, Ioannis Arzoumanidis, Andrea Raggi, Lolita Libera-tore, Luigia Petti	
Book of Abstracts	1319
L'etichettatura ambientale nel settore alimentare. Analisi delle di-namiche evolutive a livello italianonale	1319
di Agata Lo Giudice, Maria Rosaria Sessa, Ornella Malandrino	
Le Zes: uno strumento per lo sviluppo dell'agri-food innovativo e sostenibile	1320
di Candida Laquale, Roberto Rana, Nicola Faccilongo, Caterina Tricase	
Multi-actor Network in literature. Tools and techniques of research	1321
di Annalisa Angeloni, Cecilia Silvestri	
Perceived vs Actual Water Footprint: analysis of the consumers' awareness related to agrifood products	1321
di Giulio Paolo Agnusdei	

Smart Farming and Industry 5.0: enabling technologies and total productive maintenance for human-machine collaboration and sustainable production

Cristina Ciliberto

University of Messina

Katarzyna Szopik-Depczyńska

University of Szczecin

Giuseppe Ioppolo

University of Messina

ABSTRACT

Industry 5.0 (I5.0) is a concept that builds upon the principles of Industry 4.0, which refers to the integration of digital technologies and automation in manufacturing processes. Industry 5.0 takes this a step further by emphasizing the collaboration between humans and machines in the workplace. It focuses on the idea that technology should augment human capabilities rather than replace them entirely. When it comes to the agri-food sector, Industry 5.0 can have a significant impact. Industry 5.0 promotes the use of smart farming techniques that combine human intelligence with automation and robotics. Therefore, the main objective of the paper is to categorize technologies used in smart farming to contribute to the theoretical understanding of the field. The subobjectives are: (i) identifying enabling technologies, principles, values, and components for sustainable production and, (ii) investigating the relationships between Industry 5.0 elements and Total Productive Maintenance (TPM) in smart farming. A systematic literature review (SLR), evaluating articles from peer-reviewed journals indexed in Scopus and Web of Science (WoS), was performed to achieve the objectives of this article. Despite Industry 5.0 being closer than anticipated, this phenomenon is still in its early stages. Very few studies about the I5.0 in the agri-food sector have been found in the literature during the last decade. Most of them highlight the need for specific roadmaps delineating the necessary steps, technologies, and strategies that are essential to attain sustainable transformation. Their identification can have practical implications in the smart farming sector to improve the agricultural processes efficiency.

PAROLE CHIAVE/KEYWORDS: Industria 5.0, agricoltura intelligente, tecnologie abilitanti, collaborazione uomo-macchina, agricoltura di precisione,

manutenzione produttiva, revisione sistematica della letteratura; Industry 5.0, smart farming, enabling technologies, human-machine collaboration, precision agriculture, Total Productive Maintenance, systematic literature review.

1 Introduction

The field of agriculture has witnessed numerous transformative shifts throughout history. These include the momentous events of animal and plant domestication several millennia ago, the implementation of crop rotations and other farming advancements a few centuries back, and the notable “green revolution” that occurred a few decades ago, characterized by systematic breeding techniques as well as the widespread adoption of synthetic fertilizers and pesticides (Gordon et al. 2022). However, agriculture is currently experiencing a fourth revolution, driven by the exponential integration of information and communication technology (ICT) in farming practices. The convergence of technology, agriculture, and industry has ushered in a new era of innovation and sustainability in farming and industrial operations. Smart Farming and Industry 5.0 represent the cutting edge of this transformative journey, where advanced technologies are harnessed to optimize processes, enhance productivity, and foster a harmonious collaboration between humans and machines (Gera et al., 2022). These paradigms go beyond traditional approaches, embracing a holistic vision that seeks not only efficiency but also environmental responsibility. In today’s rapidly changing world, the demand for agricultural and industrial outputs is greater than ever before. At the same time, concerns about resource depletion, environmental impact, and the well-being of the workforce have taken center stage. Smart Farming and Industry 5.0 respond to these challenges by offering innovative solutions that strike a balance between meeting the growing global needs and preserving our planet’s fragile ecosystem. The concept of Industry 5.0 in the context of smart farming is a relatively new and groundbreaking phenomenon that, despite advancements in the existing literature, still requires in-depth exploration and analysis. As emphasized by Grieve et al. (2019), the knowledge gap in this area represents a significant research opportunity. Our study aims to fill this gap, contributing to a better understanding and delineation of the role of Industry 5.0 in optimizing agricultural practices. In this discussion, we will delve into the core concepts of Smart Farming and Industry 5.0, exploring the enabling technologies that underpin their success. We will also explore the vital concept of Total Productive Maintenance (TPM), which plays a pivotal role in ensuring the seamless functioning of the man-machine

ecosystem in these domains. Moreover, we will highlight the paramount objective of sustainable production, emphasizing the imperative to balance innovation with ecological considerations.

2 Literature background

Smart Farming is a highly significant development that places great emphasis on the utilization of information and communication technology within the cyber-physical farm management cycle (Tjhin and Riantini, 2022; Alwis et al., 2022; Bhavani et al., 2023). This development is expected to be further enhanced by the implementation of cutting-edge technologies such as the Internet of Things and Cloud Computing, which will undoubtedly introduce a greater number of robots and artificial intelligence into the realm of farming (Liu et al., 2021; Charania and Li, 2020). However, data is shared among multiple networks that are different from each other and belong to different authoritative domains. Therefore, it is crucial to have trusted and secure data transfer in order to synchronize and secure the industrial perimeters. Blockchain (BC) is the preferred choice as a security enabler for Industry 5.0 ecosystems due to its inherent properties of immutability, chronology, and auditability in industrial systems (Verma et al., 2022). This remarkable progress is encapsulated by the phenomenon known as Big Data, which refers to the vast quantities of data, characterized by their immense volume and wide variety, that can be effectively captured, meticulously analyzed, and subsequently utilized to inform decision-making processes (Wolfert et al., 2017).

Smart farming can present a coordinated strategy for moving away from entrenched technologies and practices marked by significant polarization and market division (Agarwal et al., 2019). It offers a pathway towards sustainable agriculture through the diversification of technologies, crop and livestock production systems, and networks that involve all stakeholders in the agri-food sector. There is no single policy approach capable of achieving this vision, which promotes and facilitates the appropriate utilization of ICT technology (Rađenović et al., 2020; Sachs, 2015).

Smart farming is a crucial tool for promoting environmentally and economically responsible agricultural practices (Sarkar and Sarkar, 2020). By utilizing site-specific applications, it enables farmers to manage their land in a sustainable manner. This approach represents a significant stride towards achieving sustainable agriculture (Bach and Mauser, 2018; Schulman et al., 2023).

Smart farming and sustainable production

The primary factor responsible for environmental harm lies in the

unsustainable production and consumption patterns, particularly prevalent in industrialized nations (Fatimah et al., 2020). Attaining sustainable development necessitates alterations in industrial operations, the nature and volume of resource utilization, waste management practices, emission control, and the nature of produced goods. A challenge in gauging a company's sustainability level is discerning the directions of change that steer it towards sustainability (Musa and Basir, 2021).

An approach utilizing the facilitators of Industry 4.0 technologies was created with the aim of enhancing the integration of sustainability practices within manufacturing firms in emerging economies (Yadav et al., 2020). Achieving sustainable and intelligent industrial agriculture within this framework entails the utilization of real-time variable fine-grained data collection, processing, and analysis in all facets of the agricultural industry, ranging from food production and processing to distribution and consumer engagement (Amiri-Zarandi et al., 2022). This integrated ecosystem of industrial agriculture, bolstered by real-time farm management, automation, and data-driven intelligent decision-making, holds the potential to significantly enhance productivity, efficiency within the agri-food supply chain, food safety measures, and the responsible utilization of natural resources (Farooq et al., 2019).

Smart farming and Total Predictive Maintenance

Predictive maintenance, a crucial component of sustainable manufacturing and production systems, assumes a paramount role in ensuring the smooth operation and longevity of equipment (Garcia et al., 2006). In the context of smart maintenance, the platform being presented here serves as a robust solution for managing and facilitating seamless data communication between equipment throughout their entire life cycle (Achouch et al., 2022). This platform, with its comprehensive features and capabilities, establishes itself as the authoritative tool for optimizing maintenance processes and enhancing overall operational efficiency (Tiddens et al. 2020). By utilizing this platform, manufacturers and production managers can effectively monitor and analyze equipment performance, identify potential issues before they escalate, and implement timely maintenance interventions (Yildirim et al., 2016). The platform's advanced data management system enables the collection, storage, and analysis of vast amounts of equipment-related data, providing valuable insights and facilitating informed decision-making (Mattioli et al., 2013). Furthermore, its seamless integration with existing manufacturing systems ensures a smooth transition and minimizes disruptions. According to Swanson, (2003) the data obtained from a comprehensive survey conducted among esteemed plant managers, it has been revealed through meticulous analysis that the main-

tenance department, in response to the intricate nature of its operational environment, effectively employs computerized maintenance management systems, preventive and predictive maintenance systems, as well as coordination and an augmented workforce size. These strategic measures have been implemented with utmost precision and have proven to be highly efficacious in ensuring the smooth functioning and optimal performance of the maintenance operations. It is strongly recommended that organizations facing similar challenges consider adopting these practices to enhance their maintenance capabilities and achieve superior outcomes. In conclusion, TPM is an indispensable asset for any organization seeking to achieve sustainable manufacturing practices and maximize the lifespan and performance of their equipment.

3 Methodology

This study has been conducted as a comprehensive review of the existing literature, following the guidelines set forth by Kitchenham and Charters (2007). In the selection of our methodology, we have chosen to conduct a Systematic Literature Review (SLR) in light of several important considerations. First and foremost, our research delves into a relatively new and pioneering field, characterized by a scarcity of systematic literature. This novelty of the topic itself underscores the significance of our study. Despite the limited availability of systematic studies, we firmly believe that an SLR is a valuable approach to distill knowledge from the existing, albeit scattered, literature. By synthesizing these dispersed insights, we can offer a comprehensive view of the emerging field, contributing to a deeper understanding of the subject.

Moreover, the identification of specific gaps and challenges within the current body of literature plays a pivotal role in justifying our choice of an SLR. To provide greater clarity on this front, we will clearly articulate these gaps and challenges, demonstrating why an SLR is not only relevant but also necessary for advancing our comprehension of the subject matter. Our systematic approach will enable us to fill these voids by collating and analyzing existing knowledge systematically.

In summary, while the decision to employ an SLR may appear unconventional due to the limited systematic literature available, we are confident that it is the most appropriate method for our study. It will help us leverage the novelty of our research area and address the specific knowledge gaps within the current literature, ultimately contributing to a more comprehensive understanding of the subject.

The primary objective of this endeavor was to acquire a profound

understanding of the principal information technologies employed in the field of smart agriculture, while also examining their contribution to sustainable production and investigating the relationships between Industry 5.0 elements and Total Productive Maintenance (TPM) in smart farming.

The review began with careful planning, which involved determining the research needs and establishing search and review protocols. Following this, a comprehensive search was conducted using the specified sources identified during the planning phase. The search was limited to English in order to maximize the breadth of information gathered. From the search results, a preliminary review was conducted, resulting in a list of potentially valuable publications. Duplicate publications were then eliminated. Finally, the remaining publications were thoroughly analyzed, resulting in a list of useful publications for this research. The purpose of this review is to identify existing proposals for the use of I5.0 technologies in smart agriculture. To achieve this objective, the following research question has been formulated:

Q1. What Industry 5.0 technologies are utilized in smart agriculture, as documented in the existing literature?

In order to address the sub-objectives, it is imperative to inquire about the contribution of these technologies to sustainable production. Additionally, it is crucial to explore the intricate relationships between the elements of Industry 5.0 and Total Productive Maintenance (TPM) within the context of smart farming.

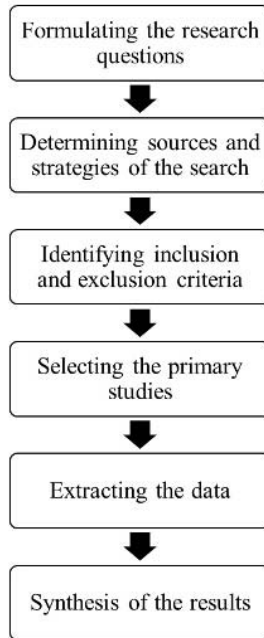


Figure 1 – Systematic Literature Review Stages (Kitchenham and Charters, 2007)

To conduct this systematic literature review (SLR), relevant sources were consulted, including Scopus and Web of Science.

The protocol employed to conduct the search in the aforementioned sources is as follows:

(AB = (“Industry 5.0” OR “Fifth industrial revolution” OR “human-machine interaction” OR “human-machine collaboration”) OR AK = (“Industry 5.0” OR “Fifth industrial revolution” OR “human-machine interaction” OR “human-machine collaboration”) OR TI = (“Industry 5.0” OR “Fifth industrial revolution” OR “human-machine interaction” OR “human-machine collaboration”)) AND (AB = (“smart farming” OR “agriculture 4.0” OR “digital agriculture”) OR AK = (“smart farming” OR “agriculture 4.0” OR “digital agriculture”) OR TI = (“smart farming” OR “agriculture 4.0” OR “digital agriculture”)).

In the course of conducting the systematic literature review, a thorough examination was conducted on 4 findings sourced from Web of Science. Using the terms “Industry 5.0” and “smart farming”, we discovered 8 other records on Scopus. Consequently, a grand total of 12 publications were subjected to a review, with the aim of identifying the potentially valu-

able ones. After the screening, the final number of results dropped to only 8 articles. The inclusion criteria are as follows: peer-reviewed articles and conference papers written in English, with no limitations on the year of publication. There were no geographical restrictions. To maintain academic quality, the research utilized the Web of Science (WOS) and Scopus online databases, as these databases ensure the peer-review status of the articles. It has to be said, the limitation of the research lies in the low number of studies reviewed; however it can be considered as the first systematic review of Industry 5.0 combined with smart farming.

4 Results and Discussion

In this discussion, we will delve into the main findings of the Systematic Literature Review (SLR). This review not only provides valuable insights into the current state of the art in the utilization of Information Technology (IT) and software in precision agriculture, but it also serves as a means to identify the primary contexts in which these technologies have been employed.

Reference	Enabling Technology	Key Application	Practical examples of key applications
Sørensen et al., 2010	Farm Management Information Systems (FMIS)	Software and hardware that helps farmers collect, store, and analyze data about their operations.	FarmERP, AgriWebb, Ag Leader
Singh et al., 2021	Precision Agriculture (PA) Systems	Use sensors, GPS, and other technologies (cameras) to monitor and manage crops and livestock with greater precision.	Variable rate irrigation, yield mapping, precision planting
Grieve et al., 2019	Agricultural Automation and Robotics	Machines and robots that can perform tasks such as planting, weeding, harvesting, and milking.	Drone seeders, autonomous tractors, robotic milking machines, Digital FarmHand and AGRIM-X, digital twins in hydroponics

Ahmed and Hussain, 2018	Internet of Things (IoT)	Sensors and devices that collect data and communicate with each other over the internet and to monitor crop health, identify pests and diseases, and assess damage from natural disasters.	Soil moisture sensors, weather stations, livestock monitoring systems
Akkem et al., 2023	Artificial Intelligence (AI)	Software that can learn from data and make decisions without human intervention. Agricultural Predictive Analytics	AI-powered crop monitoring systems, AI-powered pest detection systems, AI-powered irrigation management systems.
Zambon et al., 2019	Big Data	Large datasets that can be analyzed using AI to identify patterns and trends.	Crop yield data, soil data, weather data, livestock data.
Verma et al., 2022	Blockchain	Blockchain technology can be used to track the movement of food products from farm to fork, ensuring transparency and traceability.	Supply chain tracking, smart contracts for agreements, crop and livestock management, food safety and quality assurance.
Inoue 2020	Drones (UAV,UAS)	They monitor crop health, assess damage from pests or diseases, and create maps of fields.	Crop monitoring, crop yield estimation, irrigation management, weather and environmental data collection, wildlife and pest control.

Table 1 – Summary of Industry 5.0 technologies adopted in Smart Farming

These publications focus on technologies or software that facilitate the retrieval and processing of data pertaining to the current condition of various sectors of the terrain (Wang et al., 2022).

The remote sensors, drones and robots are researched technologies due to their numerous advantages, such as their exceptional accuracy and ability to capture various factors (Zhang et al., 2023). However, it is important to

acknowledge that there are also disadvantages associated with them, such as the significant investment cost required to achieve higher levels of accuracy. Consequently, it is prudent to consider alternative methods of data capture based on the specific requirements of each individual crop (Beza et al., 2017).

Furthermore, it is imperative to recognize that merely capturing the data is insufficient; it must also be stored and subsequently transformed into information to facilitate appropriate analysis (Lieder and Schröter-Schlaack, 2021). Consequently, software and techniques have been developed to process and analyze the data, thereby enabling a more straightforward interpretation of the terrain's condition. For instance, maps have been created that utilize color to indicate the water level of each sector, thereby highlighting those areas that possess an adequate level and those that demand the farmer's attention (Smith and Bernard, 2020). These software and techniques enable users to make decisions more efficiently and expeditiously. It is important to acknowledge that the utilization of these technologies is closely intertwined with the incorporation of sensors or other technological advancements that facilitate the collection of necessary data (Tripathi et al., 2013). Smart farming is an innovative approach that effectively mitigates the ecological footprint associated with traditional farming practices. By implementing advanced technologies and employing strategic methodologies, smart farming optimizes resource utilization, minimizes waste generation, and enhances overall sustainability in agricultural operations (Walter et al., 2017).

There are still several hurdles that need to be overcome in order to move forward. One of the major questions that needs to be addressed is the issue of data ownership. The use of Industry 5.0 technologies to record the input of resources and the output of products raises concerns regarding property rights and the use of data. Business models have the potential to add value by converting spatially explicit big data into information and advice, not only for farmers but also for regulatory authorities who can utilize the data for surveillance and control purposes. It is imperative for governments to establish a regulatory architecture that ensures the availability of high-quality data, while simultaneously fostering trust among all parties involved (Higgins and Bryant, 2020). The potential misuse of data presents additional legal and ethical challenges that need to be addressed through proper regulation and monitoring (Koutridi and Christpoulou, 2023).

5 Conclusions

Based on the findings of the literature review, it has been determined that, despite being a relatively recent concept, there are significant insights to be gained.

In the realm of smart farming, various I5.0 tools have been employed. Notably, sensors, GPS and agricultural automation systems have garnered significant attention. Similarly, among the farm management information systems available to support these technologies, FarmERP, Agri-Webb and Ag Leader have emerged as widely utilized. It is recommended that researchers and practitioners in this field prioritize the adoption of these tools, as they have proven to be highly effective in enhancing smart farming practices.

Hence, smart farming technologies have the potential to greatly mitigate the adverse environmental effects of agriculture. However, it is imperative that the state takes a proactive stance in order to effectively implement the necessary governance measures. By doing so, we can minimize the existing risks associated with these technologies, such as rebound effects, acceptance barriers, and political omissions (Lieder and Schröter-Schlaack, 2021).

Rebound effects refer to the unintended consequences that may arise from the adoption of smart farming technologies. While these technologies aim to reduce resource consumption and environmental impact, there is a possibility that they may inadvertently lead to increased resource use or other negative outcomes (Caffaro and Cavallo, 2019; Eastwood et al., 2019).

In conclusion, it is imperative that the forthcoming endeavours of this research are directed towards the development of a recommendation system. This system, bolstered by the invaluable insights gleaned from this systematic literature review (SLR), will serve as an invaluable tool for farmers. Its primary purpose will be to facilitate the comparison and selection of appropriate I5.0 technologies to be implemented in their respective fields. By utilizing this recommendation system, farmers will be equipped with the necessary guidance to make informed decisions that will optimize their agricultural practices.

The research does have a limitation worth noting. It is important to acknowledge that the number of studies reviewed in this particular analysis is relatively low. However, it is worth emphasizing that this study can be regarded as the pioneering systematic review of the integration of Industry 5.0 with smart farming. Despite the limited number of studies, this review provides useful insights into the subject matter.

In contemplating the future directions of research in this domain, two compelling options emerge. Firstly, the extension of future Systematic Literature Reviews (SLRs) to encompass a broader range of keywords and search terms presents an opportunity to cast a wider net and gather a more comprehensive body of literature related to the subject. This expansion is expected to yield a deeper and more nuanced understanding of the phe-

nomenon under scrutiny. Secondly, the integration of the SLR as a qualitative, exploratory phase prior to empirical analysis offers the potential to uncover vital insights within the existing literature. These insights can be invaluable in informing the development of research hypotheses and the design of empirical investigations, ensuring that our empirical analysis is firmly grounded in the theoretical foundation constructed during the SLR phase. Both of these approaches promise to enhance the robustness and relevance of our research, and we remain committed to further exploring these avenues in our ongoing work.

Moreover, based on the findings of this systematic literature review (SLR), there are several potential avenues for future research in the field of Smart Farming.

It is imperative to focus on the integration of I.50 technologies into smart agriculture systems. This integration will undoubtedly lead to significant improvements in data collection, analysis, and decision-making on the farm. Furthermore, in order to further advance our understanding in this field, it is absolutely necessary that we thoroughly investigate how farmers and farm workers interact with smart farming technologies. By doing so, we will be able to identify areas where improvements can be made to user interfaces, usability, and overall user experience.

To address this issue, the development of a tool or framework that encompasses the necessary knowledge and supports decision-making in selecting appropriate I.50 technology for farmers' needs is highly recommended.

In conclusion, further research on cybersecurity concerns in smart farming systems, to protect sensitive data and ensure the integrity and reliability of farm operations, and developing interoperability standards would be crucial to ensure seamless collaboration between different smart farming systems and devices.

Acknowledgements

This research has received funding from PON "Research and Innovation" 2014 – 2020 - Action II. 2 Cluster Notice No. 1735 of July 13, 2017, Project "NAUSICA - Efficient Ships through the Use of Innovative and Low Carbon Technological Solutions," Code ARS01_00334, CUP B45F21000700005.

References

- ACHOUCH, M., DIMITROVA M, ZIANE K, SATTARPANAH KARGANROUDI S, DHOUB R, IBRAHIM H, ADDA M., 2022. On Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges, *Applied Sciences*, Vol. 12 No. 16, p. 8081.
- AGARWAL, P., SINGH, V., SAINI, G.L., PANWAR, D. (2019). 'Sustainable smart-farming framework', *Advances in Environmental Engineering and Green Technologies*, pp. 147–173.
- AKKEM, Y., BISWAS, S.K., VARANASI, A., 2023. Smart farming using artificial intelligence: A review, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 120.
- ALWIS, S.D., HOU, Z., ZHANG, Y., NA, M.H., OFOGHI, B., & SAJJANHAR, A. (2022). A survey on smart farming data, applications and techniques. *Computers in Industry*, 138, 103624.
- AMIRI-ZARANDI M., HAZRATI FARD M., YOUSEFINAGHANI S., KAVIANI M., DARA R.A., 2022. Platform Approach to Smart Farm Information Processing, *Agriculture*, Vol. 12 No. 6, p. 838.
- Bach, H., & Mauser, W., 2018. Sustainable Agriculture and Smart Farming, in *Earth observation open science and innovation*, pp. 261-269.
- BEZA, E., STEINKE, J., VAN ETTEN, J., REIDSMA, P., FADDA, C., MITTRA, S., MATHUR, P., KOOISTRA, L., 2017. What are the prospects for citizen science in agriculture? Evidence from three continents on motivation and mobile telephone use of resource-poor farmers. *PLOS ONE* 12, 0175700.
- BHAVANI, Y.V.K.D., HATTURE, D.S.M., PADI, D.V.B., & SABOJI, D.S. (2023). An Analytical Review on Traditional Farming and Smart Farming: Various Technologies around Smart Farming. *SSRN Electronic Journal*.
- CAFFARO F., CAVALLO E., 2029. The Effects of Individual Variables, Farming System Characteristics and Perceived Barriers on Actual Use of Smart Farming Technologies: Evidence from the Piedmont Region, Northwestern Italy. *Agriculture*, Vol. 9, No. 5, p.111.
- CHARANIA, I., & LI, X., (2020). Smart farming: Agriculture's shift from a labor intensive to technology native industry. *Internet of Things*, Vol. 9, 100142.
- EASTWOOD, C., KLERKX, L., AYRE, M. ET AL., 2019. Managing Socio-Ethical Challenges in the Development of Smart Farming: From a Fragmented to a Comprehensive Approach for Responsible Research and Innovation. *J Agric Environ Ethics*, Vol., 32, pp. 741–768.

- FAROOQ, M.S., RIAZ, S., ABID, A., ABID, K. AND NAEEM, M.A., 2019. A survey on the role of iot in agriculture for the implementation of smart farming, *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 156237–156271.
- FATIMAH, Y.A., GOVINDAN, K., MURNININGSIH, R., & SETIAWAN, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 269, 122263.
- GARCIA, M.C., SANZ-BOBI, M.A., & DEL PICO, J. (2006). SIMAP: Intelligent System for Predictive Maintenance. *Computers in Industry*, Vol. 57, No. 6, pp. 552–568.
- GERA, U.K., SIDDARTH, D., SINGH, P., 2022. Smart Farming: Industry 4.0 in Agriculture Using Artificial Intelligence, in *Artificial Intelligence for Societal Development and Global Well-Being*, IGI Global.
- GORDON, E., DAVILA, F. & RIEDY, C., 2022. Transforming landscapes and mindscapes through regenerative agriculture. *Agric Hum Values*, Vol. 39, pp. 809–826.
- GRIEVE, B., DUCKETT, T., COLLISON, M., BOYD, L., WEST, J., YIN, H., ARVIN, F., & PEARSON, S., 2019. The challenges posed by global broadacre crops in delivering smart agri-robotic solutions: A fundamental rethink is required. *Global Food Security*, Vol. 23, pp. 116-124.
- HIGGINS, V., & BRYANT, M. (2020). Framing Agri-Digital Governance: Industry Stakeholders, Technological Frames and Smart Farming Implementation. *Sociologia Ruralis*, Vol. 60, No. 2, pp.438–457.
- INOUE, Y., (2020) Satellite- and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming – a review, *Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 66, No. 6, pp. 798-810.
- KOUTRIDIS, E., & CHRISTOPOULOU, O. (2023). “The importance of integrating Smart Farming Technologies into Rural Policies (Aiming at sustainable rural development)- Stakeholders’ views”. *Smart Agricultural Technology*, 4, 100206.
- KITCHENHAM, B., CHARTERS, S., 2007. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering version 2.3. *Engineering* 45 (4ve), 1051.
- LIEDER, S., SCHRÖTER-SCHLAACK, C. (2021). Smart Farming Technologies in Arable Farming: Towards a Holistic Assessment of Opportunities and Risks. *Sustainability*, 13(12), 6783.
- LIU, W., SHAO, X.F., WU, C.H., QIAO, P., 2021. A systematic literature review on applications of information and communication technologies and blockchain technologies for precision agriculture development, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 298, 126763.

- MATTIOLI, V., F.S. MARZANO, N. PIERDICCA, C. CAPSONI AND A. MARTELLUCCI, 2013. Modeling and Predicting Sky-Noise Temperature of Clear, Cloudy, and Rainy Atmosphere From X- to W-Band, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 7, pp. 3859-3868.
- MUSA, S.F.P.D., BASIR, K.H., 2021. Smart farming: towards a sustainable agri-food system, *British Food Journal*, Vol. 123 No. 9, pp. 3085-3099.
- RAĐENOVIĆ, A., KRSTIĆ, B., & MARKOVIĆ, M. (2020). Smart farming in agricultural industry: Mobile technology perspective. *Ekonomika Poljoprivrede*, 67(3), 925–938.
- SACHS, J.D. (2015) *The Age of Sustainable Development* (Columbia Univ Press, New York).
- SARKAR, M., & SARKAR, B. (2020). How does an industry reduce waste and consumed energy within a multi-stage smart sustainable bio-fuel production system? *Journal of Cleaner Production*, 262, 121200.
- SCHULMAN, B., BLAKE, J.T., & DONALD, R. (2023). A production capacity investment decision-making tool for the indoor vertical farming industry. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100244.
- SINGH, R., BERKVENS, R., & WEYN, M., 2021. AgriFusion: An Architecture for IoT and Emerging Technologies Based on a Precision Agriculture Survey. *IEEE Access*, 9, pp. 136253-136283.
- SØRENSEN, C.G., FOUNTAS, S., NASH, E., PESONEN, L., BOCHTIS, D., PEDERSEN, S.M., BASSO, B., BLACKMORE, S.B., 2010. Conceptual model of a future farm management information system, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 72, Issue 1, pp. 37-47.
- S.K.D. I. (2021,). Enabling a Smart Farming System for the Indian Floriculture Industry. *Engineering and Scientific International Journal*, 8(1), 13–16.
- SMITH M., E., BERNARD., S., 2020. Satellite Ocean Color Based Harmful Algal Bloom Indicators for Aquaculture Decision Support in the Southern Benguela, *Frontiers in Marine Science*, Vol. 7.
- SWANSON, L., 2003. An information-processing model of maintenance management, *International Journal of Production Economics*, Vol. 83, No. 1, pp. 45-64.
- TIDDENS, W., BRAAKSMA, J., & TINGA, T. (2020,). Exploring predictive maintenance applications in industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 28(1), 68–85.
- TJHIN, V., U., RIANTINI, R.E., 2022. Smart Farming: Implementation of Industry 4.0 in the Agricultural Sector, in *ICEEG '22: Proceedings of the 6th International Conference on E-Commerce, E-Business and E-Government*, pp. 416-421.

- TRIPATHI, R., SHAHID, M., NAYAK, A., RAJA, R., PANDA, B., MOHANTY, S., THILAGAM, V.K., KUMAR, A., 2013. Precision agriculture in india: Opportunities and challenges.
- VERMA, A., BHATTACHARYA, P., MADHANI, N., TRIVEDI, C., BHUSHAN, B., TANWAR, S., SHARMA, G., BOKORO, P.N., SHARMA, R., 2022. Blockchain for Industry 5.0: Vision, Opportunities, Key Enablers, and Future Directions, in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 69160-69199.
- WALTER, A., FINGER, R., HUBER, R., BUCHMANN, N., 2017. Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 114. 6148-6150.
- WANG, J., XU, C., ZHANG, J., ZHONG, R., 2022. Big data analytics for intelligent manufacturing systems: A review, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 62, pp. 738-752.
- WOLFERT, S., GE, L., VERDOUW, C., & BOGAARDT, M., 2017. Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, pp. 69-80.
- YADAV, G., KUMAR, A., LUTHRA, S., GARZA-REYES, J., KUMAR, V., AND BATISTA, L., 2020. A framework to achieve sustainability in manufacturing organisations of developing economies using industry 4.0 technologies' enablers. *Comput. Ind.*, 122, pp. 103280.
- YILDIRIM, M., SUN, X.A., GEBRAEEL, N.Z., 2016. Sensor-driven condition-based generator maintenance scheduling–Part I: Maintenance problem, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 31 No. 6, pp. 4253-4262.
- ZAMBON, I, CECCHINI, M., EGIDI, G., SAPORITO, M.G., COLANTONI, A., 2019. Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs, *Processes*, MDPI.
- ZHANG, Z., WANG, L. AND LEE, C., 2023. Recent Advances in Artificial Intelligence Sensors. *Adv. Sensor Res.*, 2: 2200072.

Life cycle assessment of soilless systems: a systematic literature review

Antonio Licastro
Università degli Studi di Messina
Roberta Salomone
Università degli Studi di Messina
Giovanni Mondello
Università degli Studi di Messina
Grazia Calabrò
Università degli Studi di Messina

ABSTRACT (ENG)

Soilless systems imply the use of substrates instead of soil and delivering nutrients through liquid mixtures, leading to water and fertilizer reduction. In addition, being in a controlled-environment, harmful substances like pesticides are minimized. However, the complexity of these systems requires comprehensive assessments to avoid unintended negative environmental impacts. By conducting a systematic review of 46 Life Cycle Assessment (LCA) articles on soilless systems, this study examines methodological choices and assumptions made by LCA practitioners, shedding light on the strengths and limitations of current practices. Results show that mass-related functional units and cradle-to-gate system boundaries are predominant in the assessed studies, reflecting a focus on production stage, while distribution and consumption phases often receive less attention. Environmental hotspots identified include energy consumption for irrigation and heating, nutrient solution, and structural materials. Notably, the impacts associated with macro-nutrients, as well as steel, aluminum, polyethylene from greenhouse structure, and non-renewable energy sources, have been found to be significant in terms of environmental impacts. The use of recycled materials for infrastructure, the integration of renewable energy sources such as wind power or photovoltaic system, and the optimization of fertilizer or use of biofertilizer, may minimize the environmental impacts of soilless systems. By adopting a life cycle perspective and incorporating sustainable practices, soilless systems can play a vital role in achieving environmentally friendly and resource-efficient agriculture.

KEYWORDS: soilless; systematic review; life cycle assessment; LCA; environmental sustainability

1 Introduction

The last 50 years witnessed a surge in agricultural yield per hectare allowing better access to food and reducing hunger for many individuals. However, this commendable progress has come at a considerable environmental cost (Pingali, 2012). Chemical compounds contribute to exacerbate of aquatic and terrestrial eutrophication and acidification, while less than optimal approaches to soil and water management, coupled with inefficiencies in the disposal of agricultural waste led to decrease in soil fertility and increase in soil contamination, water depletion, greenhouse gas (GHG) emissions, and deforestation (Popp *et al.*, 2014; Clark and Tilman, 2017; Searchinger *et al.*, 2018; Casey *et al.*, 2022). As World population is expected to grow up to 8.5 billion (FAO, 2021), there are concerns that the increasing food demand may further intensify the environmental pressure on agricultural production.

Nonetheless, in response to these challenges, the surge of environmental awareness has prompted the exploration for more sustainable practices. One promising approach is the implementation of Urban Agriculture (UA) by relocating a portion of agricultural production in urban spaces (Payen *et al.*, 2022). In doing so, UA not only addresses food security concerns, but also environmental ones (Orsini *et al.*, 2013; Pradhan *et al.*, 2020). Indeed, by reducing the land use of traditional agriculture, UA offers opportunity for nature to reclaim its space, fostering the restoration of natural ecosystems (Nicholls *et al.*, 2020), as well as it helps to preserve biodiversity (Clucas, Parker and Feldpausch-Parker, 2018), improve social cohesion (Park *et al.*, 2019) and mitigate urban heat island (Oberndorfer *et al.*, 2007). Urban food production can take place in grey spaces like ground-based urban land, existing buildings, façades or rooftops, as well as in green spaces, like gardens or parks (Payen *et al.*, 2022). Furthermore, UA encompasses various sub-categories, such as the orientation of farming (vertical or horizontal), the choice of growth medium, and the degree of environmental control during crop cultivation (Payen *et al.*, 2022).

However, UA practices are not exempt from challenges, as open-air, ground-based, and horizontal urban farming systems appear to be susceptible to contamination stemming from heavy metal emissions originating from industrial and urban sources (Mok *et al.*, 2014). Additionally, they are exposed to the presence of soil-borne pathogens, viruses, and fungi, which not only jeopardize crop health but also pose risks to human well-being (Salomon *et al.*, 2022).

In view of these shortcomings, a strategic move would be to employ Controlled Environmental Agriculture (CEA) practices. Thus, plants can grow unharmed by pests nor diseases within a well optimized environment

(Casey *et al.*, 2022). Soilless systems are typically employed in CEA having the main advantage of eliminating the need for soil altogether. Instead, crops are grown in specially formulated nutrient solutions or solid substrates (inert or organic), providing optimal conditions for plant growth while minimizing environmental impacts (Gonnella and Renna, 2021). The term “soilless” is often used as a synonym of “hydroponics” (formed by the Greek words for “work” and “water”), however some authors argue that the term hydroponics should refer strictly to systems where plants grow in liquid substrates (Gericke, 1937; Adams, 2002) while others use them interchangeably (Savvas and Gruda, 2018; Fussy and Papenbrock, 2022). Hence the preferred term for this article is “soilless”.

While particularly well-suited for urban agriculture (Arcas-Pilz *et al.*, 2021), soilless systems can also be employed in rural settings (Anton *et al.*, 2005; Maaoui *et al.*, 2021). Soilless systems also can be easily integrated with cutting-edge technologies such as automated irrigation combined with remote monitoring, and sensors, facilitating precise manipulation of climate and plant parameters, thus optimizing resource use (Massa *et al.*, 2020; Gonnella and Renna, 2021). However, some authors contend that the incorporation of advanced technologies may result in making these systems into energy-demanding ones (Kikuchi *et al.*, 2018; Casey *et al.*, 2022), potentially negating the environmental improvements they initially provided (Rothwell *et al.*, 2016). In addition, if on one hand certain inert substrate media (perlite or rockwool) possess relevant physical properties, like good water retention (Raviv *et al.*, 2002), on the other their environmental and social impacts across their life cycle remain relevant (Vinci and Rapa, 2019; Toboso-Chavero *et al.*, 2021). Furthermore, fertigation management approaches used in soilless system presents certain environmental consequences, such the case of open-loop systems, where effluents are not recycled (like in closed-loop ones), rather disposed into the environment contributing to eutrophication (Torrellas *et al.*, 2012). Other aspects to take into consideration are the climatic conditions, as system operating in colder regions may require additional energy for heating the crops, leading to unwanted environmental impacts (Goldstein *et al.*, 2016).

Given the many features these systems can have, it appears compelling the use of comprehensive methods to assess their environmental impacts (Dsouza *et al.*, 2021). Studies on soilless systems have primarily focused on specific processes through experimental trials, often without considering the system as a whole or encompassing all relevant aspects (Armanda *et al.*, 2019). Some experimental studies (Figueiredo, Sala and Souza, 2021; Dutta *et al.*, 2023) have showed that soilless systems can lead to reduced water and fertilizer consumption compared to conventional systems, implying potentially lower environmental impacts. However, it is im-

portant to note that these impacts are inferred from experimental results and have not been quantitatively measured and assessed. Recent reviews on environmental impacts of soilless systems mentioned Life Cycle Assessment (LCA) as a valuable method to assess their impact, by taking a life-cycle perspective (Barrett *et al.*, 2016; Gruda, Bisbis and Tanny, 2019; Fussy and Papenbrock, 2022). Indeed, LCA allows the identification and then the quantification of the potential environmental impacts across a system's (i.e., product, process, or service) life cycle stages (ISO 2006a; ISO 2006b). Despite being one among many others environmental impact assessment methods available (Beloin-Saint-Pierre *et al.*, 2017), LCA is the sole method which take a life-cycle approach. Furthermore, when evaluating environmental impacts, it's important to recognize that results can vary significantly depending on the chosen method and how that method is implemented. This highlights the need for careful consideration of methodological choices in environmental assessments.

In this contest, the goal of this study is to carry out a literature review of environmental assessment studies applied to soilless systems, in order to point out the methodological choices and to highlight the potential environmental impacts of these systems.

2 Methodology

The research methodology used to systematically select the relevant articles was preceded by two preliminary steps to prepare the literature review.

First, an overview of literature was conducted to identify the nomenclature of soilless systems and to provide a clear description of the diverse methods being under the umbrella definition of "soilless systems": this allowed identifying the terms to be used in the search strategy. The terms identified through the literature overview are reported in Table 1, according to the type of growing medium.

Type of growing medium	Nomenclature
<i>Liquid medium</i>	Drip Irrigation Hydroponics
	Deep-water culture (DWC) (or deep flow technique or floating technique or floating raft or floating system)
	Nutrient Film Technique (NFT)
	Aeroponics
	Fogponics or Atmoponics
	Flood and drain (or ebb and flow)
	Rotary hydroponic garden
	Root dipping technique
	Passive sub-irrigation (Capillary action technique, Kratky method and Wick technique)
	Run-to-waste
<i>Solid medium</i>	Hanging bag technique (or verti-grow technique)
	Grow bag Technique
	Trench technique
	Pot technique

Table 1 – Soilless techniques identified for the search strategy and classified by growing medium type

The second preliminary step involved a review-of-reviews of environmental impact assessment methods to understand which are the most used among the scientific community: this allowed to select which one to be taken in consideration in the search strategy. Hence the review of reviews has been conducted by selecting review studies, in English, that addressed at least one environmental impact assessment methods. Using Scopus and Web of Science (WoS) Database were initially identified 38 reviews, specifically 17 for WoS and 21 for Scopus. After removing duplicates (13), non-accessible articles (1), and out of the selection criteria (4), the final sample included 20 reviews. LCA was selected as the most used environmental assessment method since it appeared in 95% of the investigated reviews (figure 1).

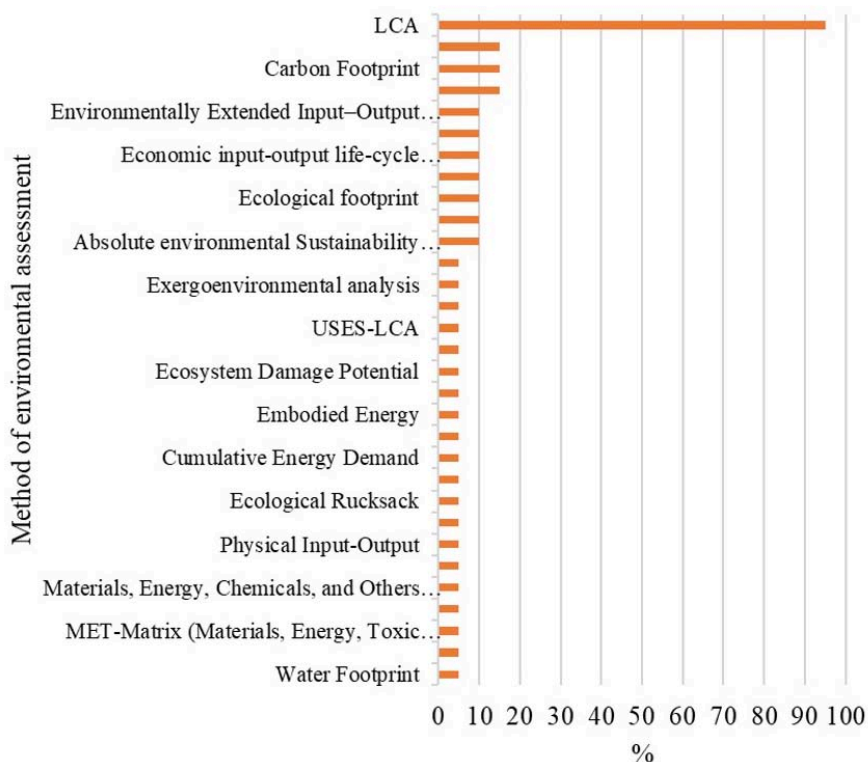


Figure 1 – Percentage frequencies of the environmental assessment methods found in the selected reviews

After these two preliminary steps, the systematic selection of LCA studies applied to soilless systems was therefore constructed by combining the nomenclature of the techniques previously identified with the keywords “LCA” or “Life Cycle Assessment”. Then the search query was run in both Scopus and WoS. Articles had to be in English with a focus on the assessment of soilless systems via LCA. Reviews, conference articles, books and proceedings were excluded. The data collection process commenced in January 2023, guided by the updated version of the PRISMA protocols (Page *et al.*, 2021). The initial sample was a combined total of 139 articles, with 70 articles identified in Scopus and 69 in WoS. Following the removal of duplicates, a set of 31 articles emerged from the initial screening process. In addition, to enhance the comprehensiveness of the sample, the snowball method was employed (Wohlin, 2014), leading to the inclusion of 15 additional articles. Consequently, the final sample encompassed a total of 46

articles. Relevant data on LCA methodological choices (such as Functional Unit, System Boundaries, Goal of the study) and identification of potential hotspots were extracted implementing the FLAVIA-LCT framework (Gullotta *et al.*, 2023), and gathered in an Excel spreadsheet.

3 Results and Discussion

Most of the investigated LCA studies (33) were both hotspots and comparative analyses (e.g., Corcelli *et al.*, 2019; Blom *et al.*, 2022; Casey *et al.*, 2022), 10 were hotspots analyses (e.g., Dias *et al.*, 2017; Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2022) and 2 were comparative (Muñoz *et al.*, 2008; Llorach-Massana *et al.*, 2016). All followed an attributional approach, except one which followed a consequential approach (Goldstein *et al.*, 2016), as shown in figure 2. The majority of studies focused on assessing one or more farming systems with the inclusion of infrastructure and crop production altogether. For instance, comparison involved farms integrated into buildings versus ground-based ones (Goldstein *et al.*, 2016), in-soil systems vs soilless (Ilari *et al.*, 2021), open-field cultivation vs in-soil greenhouse cultivation vs soilless greenhouse (Ntinis *et al.*, 2017). While other studies gave attention also to specific greenhouse structures (rooftop greenhouse, vertical farms, plant factories, etc.), fertilization method, substrates, or heating systems. Two articles focused on methodological aspects like the definition of characterization factors or computation of N₂O emissions (Antón *et al.*, 2014; Llorach-Massana, Muñoz, *et al.*, 2017). It should be noted that one article may have multiple goals.

Such concentration of objectives around production and infrastructure somehow anticipates what could be the environmental hotspots, as attention is given to nutritional solutions, heating systems, structure of greenhouse and auxiliary equipment. In addition, while attributional LCA allows decision-makers to see the current state of a system, the overwhelming use of this approach surges the need to flank it with consequential LCAs, which would enable a deeper understanding of the potential repercussions associated with the expected widespread implementation of soilless systems, thus providing decision-makers with a more comprehensive and forward-looking assessment.

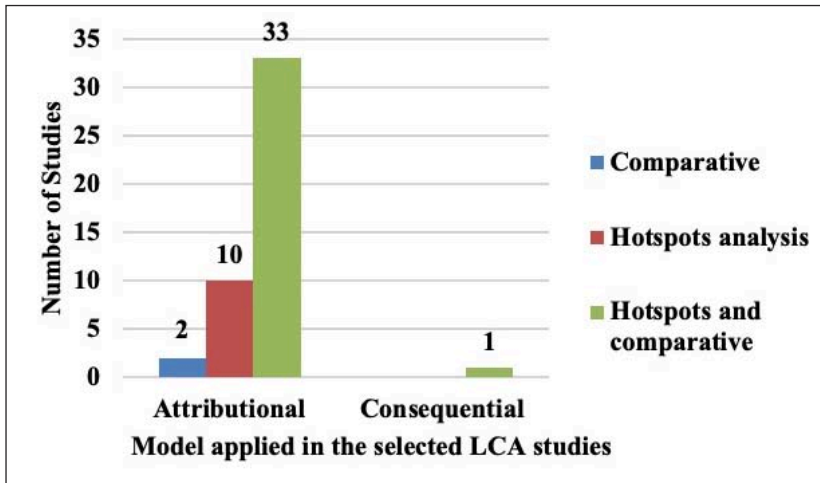


Figure 2 – Model applied in the selected papers per type of assessment

Regarding the functional unit and system boundaries, results are summarized in figure 3, where the number of detected FUs are counted per their respective system boundaries and, also in this case, one LCA study may be performed within multiple system boundaries with multiple FUs, thus in the figure is reported the number of appearances. Mass-related FU, expressed in tons or kg is the most preferred one, as it has been chosen 36 times. Surface related FU (square meter, hectare, or acre) appeared 9 times, while volume-related FU was chosen to assess the impact of substrates just two times. In addition, unit-related FU (in this specific instance, number of plants), as well as combined FU (e.g., square meter per year or kg per year) were chosen 3 times, while energy-related (in kcal) and monetary FU (€) were found 1 time. Lastly, even if in two instances (Llorach-Massana et al., 2017a; Llorach-Massana et al., 2017b) the FU was not clearly specified, it should be noted that one considered emissions only from the production phase (defined as operation phase in the article) and the other is a methodological article. Figure 3 shows that Mass-related and Surface-related FUs are employed mostly along with a cradle-to-gate approach. This, may reflect a focus on production, possibly indicating where the hotspots might lie. In addition, the use of multiple FU for the assessment of the same system can be useful for completer results, as in the selected sample only five articles used multiple FUs in their analyses. Indeed, limiting the assessment to using one type of FU may preclude the possibility to see the picture from different perspectives (Notarnicola *et al.*, 2015).

Cradle-to-gate approach dominates the sample as the main phases

accounted for are raw material extraction, infrastructure (which can be integrated with its construction and maintenance), production and waste management of production waste and disposal of infrastructure. Infrastructure may include the greenhouse structure and the auxiliary equipment (irrigation system, heating system, ventilation, sensors, etc.). Most of the system boundaries are concentrated within the main two phases of soilless production: infrastructure and production. Cradle-to-grave approach is found to be chosen most when emissions from the infrastructure life cycle are accounted. For instance, one article (Blom *et al.*, 2022) accounted end-of-life emissions of the materials of the farm including only the transportation of the materials to a treatment site but not the process of material recycling, while emissions from consumption phase were included taking into account only food losses during consumption with the exclusion of energy from consumer home refrigeration and inputs needed for the food supply chain like on-site refrigeration. However in one article (Page *et al.*, 2012), which followed a cradle-to-consumer approach, production of vehicles used for shopping trip and electricity used by consumers' refrigerator were also taken into account. Cradle-to-distribution approaches occur 10 times where in some articles (Almeida *et al.*, 2014; Goldstein *et al.*, 2016; Rothwell *et al.*, 2016; Maaoui *et al.*, 2021; Blom *et al.*, 2022; Casey *et al.*, 2022) implies the transport from farm gate to the distribution center, while, in other articles (Sanyé-Mengual, Oliver-Solà, *et al.*, 2015; Llorach-Massana, Muñoz, *et al.*, 2017; Martin and Molin, 2019), it implies the transportation from farm gate to retail. One article (Sanyé-Mengual *et al.*, 2013) compared rural farms versus urban farms and included transportation only from rural greenhouse to distribution and retail, while excluded any kind of transport from urban farm, because it was assumed that consumers buy directly from it. Waste management is the phase where production waste is handled for disposal to landfill, reused, or recycled, those analyses that include such phase considered impacts only from wastes produced in farm and disposal to landfill of infrastructure and auxiliary materials, as well as their transport. Recycling of materials, in some articles, were not accounted for the environmental impacts as cut-off procedure was often used (Anton *et al.*, 2005; Llorach-Massana *et al.*, 2017b; Sanyé-Mengual *et al.*, 2015b), while post-consumption waste is totally neglected due to the lack of data.

In this review, a predominant reliance on mass-related FUs was observed in many studies as well as a prevalence of cradle-to-gate approach. However, consumption phase appeared to be neglected and few studies considered boundaries beyond crop production and distribution. Indeed, collecting data on this phase requires a survey of consumers' behavior regarding the amount of food purchased, how it is stored and the shopping trip (by car, by bicycle, by bus, etc.). In the case of urban farms, the omis-

sion of certain stages is often justified by short supply chains as consumers purchase directly from the farmer, minimizing transportation-related impacts (Martin and Molin, 2019; Martin, Poulidikidou and Molin, 2019). However, transportation emissions avoided, thanks to this proximity-driven advantage might be counterbalanced by impacts from higher energy consumptions, especially in cold regions where crops need higher temperature to survive (Goldstein *et al.*, 2016). On the contrary, distance to distribution center plays an important role in soilless systems employed in rural settings where the use of refrigerated vehicles may have substantial environmental implications (Maaoui *et al.*, 2021; Martin, Weidner and Gullström, 2022). Food losses during market distribution and consumer's food refrigeration also bear environmental consequences (Blom *et al.*, 2022; Maaoui *et al.*, 2021; Page *et al.*, 2012; Sanyé-Mengual *et al.*, 2013) emphasizing the importance of considering these stages for comprehensive conclusions.

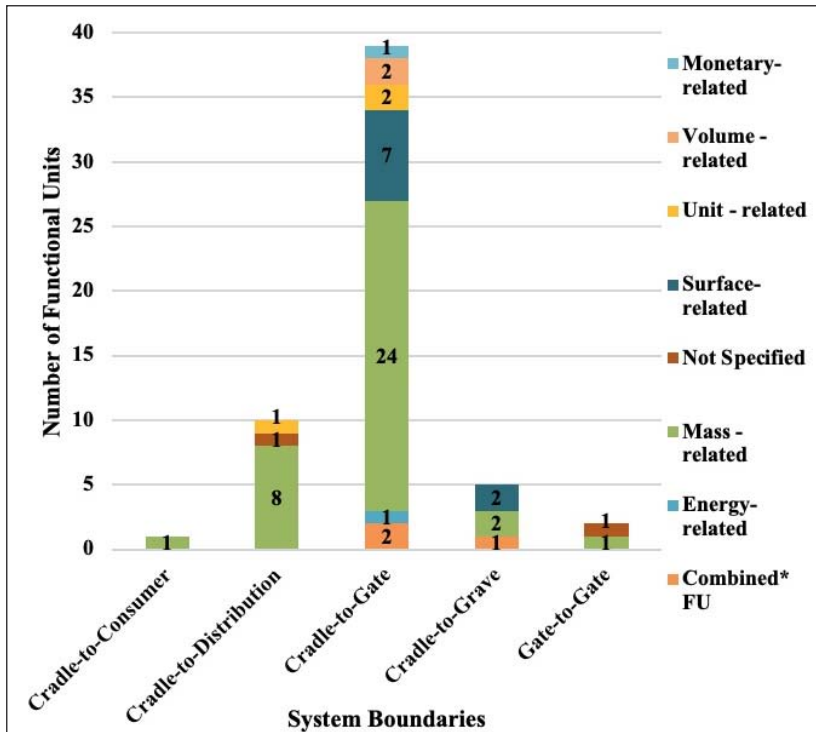


Figure 3 – Functional units and system boundaries identified among the investigated studies

*Combined FUs expressed as mass per year (e.g., kg/y) or mass per surface (e.g., kg/acre)

One of the foremost hotspots was energy consumption associated with crop production phase, in particular energy employed to heat and maintain operative the auxiliary equipment. Indeed, the production of crops within controlled environments often necessitates the use of artificial light, ventilation, cooling, and heating systems in addition to centralized controllers integrated with sensors, monitors, and pumps to deliver a well-optimized nutrient solution. Indeed, these systems can be very energy intensive, and their environmental sustainability becomes questionable depending on the share of non-renewable energy sources used to run them. For, instance, an advanced modular hydroponic container, employing a drip irrigation system, can consume 15 kWh per kg of lettuce, with an impact spanning from 0.48 to 17.8 kg CO₂ eq. per kg of lettuce, depending on the energy mix used (Casey *et al.*, 2022). Energy consumption in an aeroponic system contributed to 92.5% of Global Warming Potential (100 years) during winter and 91.9% during spring, using Greece grid (Barla, Salachas and Abeliotis, 2020). Another soilless system set in Spain had an impact on Global Warming 37% higher than a conventional in-soil system due to its higher energy consumption (Martin-Gorriz *et al.*, 2021). Another prominent hotspot pertains to the synthetic substances employed for fertigation. In particular, the use of synthetic macronutrients, such as nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K), also known as NPK, are essential for plant growth in soilless systems. These substance concur to substantial environmental impacts (Rothwell *et al.*, 2016; Schmidt Rivera *et al.*, 2023), particularly when employing open-loop systems (Anton *et al.*, 2005; Rufi-Salís *et al.*, 2020). Compared to an open-loop system a closed-loop allow to save daily nutrients for 40% of N, 35% of P, 41% of K, with relevant environmental benefits (Rufi-Salís *et al.*, 2020a). Whereas in open-loop systems, the drained water from the substrate, loaded with nutrient solution residues, is often collected, and subsequently discharged into the environment polluting the groundwater with synthetic substances (Bouchaaba *et al.*, 2015). The choice of materials used in the construction of soilless system infrastructure represents yet another significant hotspot. Materials such as steel, aluminum, and polyethylene, which are commonly utilized in the creation of greenhouse structures, have been identified as key contributors to environmental impacts (Ledesma, Nikolic and Pons-Valladares, 2020; Rufi-Salís *et al.*, 2020). This is particularly relevant in urban environment, were rooftop greenhouse structures may have higher environmental impact than a conventional greenhouse, because they require more material (Sanyé-Mengual *et al.*, 2015b).

4 Conclusions

A systematic review of LCA studies applied to soilless systems was conducted and a total of 46 articles were selected following the PRISMA protocols, and methodological aspects concerning FUs, system boundaries, object of the study were collected using the framework FLAVA-LCT and subsequently discussed. The results highlighted that mass-related FUs, and cradle-to-gate approaches were dominant, reflecting the attention on the production phase. Post-farm and consumption phase received less attention, possibly due to lack of data. Moreover, reviewing the selected articles allowed to shed light on the potential hotspots of soilless systems, which are concentrated in the production phase. Indeed, the contributors of these impacts are energy consumption, nutrient solution (in the form of NPK) and materials the greenhouses are made of (like steel, aluminum, and polyethylene). Without addressing these shortcomings, soilless systems can be less environmentally sustainable than conventional systems (Rothwell *et al.*, 2016). Possible solutions may involve the use of renewable energy sources (Martin-Gorriz *et al.*, 2021), reduced doses of nutrient solution (Muñoz *et al.*, 2008), alternative fertilizers and recycled materials (Corcelli *et al.*, 2019; Arcas-Pilz *et al.*, 2021).

Future research should focus on comparing the most recent and innovative soilless system against the most used ones, employing different FUs and broader system boundaries to include post-farm and post-consumption phases. In addition, further analysis should encompass all methodological choices which are made across the four cardinal steps of LCA.

Acknowledgements

The authors acknowledge the support of the Italian Ministry of Education, PON scholarship “Green n°2”, CUP: J35F21003690007.

References

- ADAMS, P. (2002) 'Nutritional Control in Hydroponics', in Savvas, D. and Passam, H. (eds) *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Athens: Embryo Publications, p. 463.
- ALMEIDA, J. ET AL. (2014) 'Carbon and Water Footprints and Energy Use of Greenhouse Tomato Production in Northern Italy', *Journal of Industrial Ecology*, 18(6), pp. 898-908. doi:10.1111/jiec.12169.
- ANTON, A. ET AL. (2005) 'LCA and tomato production in Mediterranean greenhouses', *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 4(2), p. 102. doi:10.1504/IJARGE.2005.007192.
- ANTÓN, A. ET AL. (2014) 'Improvement of Agricultural Life Cycle Assessment Studies through Spatial Differentiation and New Impact Categories: Case Study on Greenhouse Tomato Production', *Environmental Science & Technology*, 48(16), pp. 9454-9462. doi:10.1021/es501474y.
- ARCAS-PILZ, V. ET AL. (2021) 'Assessing the environmental behavior of alternative fertigation methods in soilless systems: The case of *Phaseolus vulgaris* with struvite and rhizobia inoculation', *Science of the Total Environment*, 770, p. 144744. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.144744.
- ARMANDA, D.T. ET AL. (2019) 'The second green revolution: Innovative urban agriculture's contribution to food security and sustainability – A review', *Global Food Security*, 22, pp. 13–24. doi:10.1016/j.gfs.2019.08.002.
- BARRETT, G.E. ET AL. (2016) 'Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review', *Scientia Horticulturae*, 212, pp. 220–234. doi:10.1016/j.scienta.2016.09.030.
- BELOIN-SAINT-PIERRE, D. ET AL. (2017) 'A review of urban metabolism studies to identify key methodological choices for future harmonization and implementation', *Journal of Cleaner Production*, 163, pp. S223–S240. doi:10.1016/j.jclepro.2016.09.014.
- BLOM, T. ET AL. (2022) 'The embodied carbon emissions of lettuce production in vertical farming, greenhouse horticulture, and open-field farming in the Netherlands', *Journal of Cleaner Production*, 377, p. 134443. doi:10.1016/j.jclepro.2022.134443.
- BOUCHAABA, Z. ET AL. (2015) 'Open-cycle drip vs closed-cycle subirrigation: Effects on growth and yield of greenhouse soilless green bean', *Scientia Horticulturae*, 182, pp. 77-85. doi:10.1016/j.scienta.2014.11.007.
- CASEY, L. ET AL. (2022) 'Comparative environmental footprints of lettuce supplied by hydroponic controlled-environment agriculture and field-based supply chains', *Journal of Cleaner Production*, 369(July), p. 133214. doi:10.1016/j.jclepro.2022.133214.

- CLARK, M. AND TILMAN, D. (2017) 'Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice', *Environmental Research Letters*, 12(6), p. 064016. doi:10.1088/1748-9326/aa6cd5.
- CLUCAS, B., PARKER, I.D. AND FELDPAUSCH-PARKER, A.M. (2018) 'A systematic review of the relationship between urban agriculture and biodiversity', *Urban Ecosystems*, 21(4), pp. 635-643. doi:10.1007/s11252-018-0748-8.
- CORCELLI, F. ET AL. (2019) 'Transforming rooftops into productive urban spaces in the Mediterranean. An LCA comparison of agri-urban production and photovoltaic energy generation', *Resources, Conservation and Recycling*, 144, pp. 321-336. doi:10.1016/j.resconrec.2019.01.040.
- DIAS, G.M. ET AL. (2017) 'Life cycle perspectives on the sustainability of Ontario greenhouse tomato production: Benchmarking and improvement opportunities', *Journal of Cleaner Production*, 140, pp. 831-839. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.039.
- DSOUZA, A. ET AL. (2021) 'A conceptual framework for incorporation of composting in closed-loop urban controlled environment agriculture', *Sustainability (Switzerland)*, 13(5), pp. 1-28. doi:10.3390/su13052471.
- DUTTA, M. ET AL. (2023) 'Evaluation of Growth Responses of Lettuce and Energy Efficiency of the Substrate and Smart Hydroponics Cropping System', *Sensors*, 23(4), pp. 1-21. doi:10.3390/s23041875.
- FAO (2021) *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. OECD (OECD-FAO Agricultural Outlook). doi:10.1787/19428846-en.
- FIGUEIREDO, C.G.C.G., SALA, F.C.F.C. AND SOUZA, C.F.C.F.C.F. (2021) 'Treated domestic sewage as a nutrient source for strawberry under hydroponic cultivation', *INTERNATIONAL JOURNAL OF RECYCLING OF ORGANIC WASTE IN AGRICULTURE*, 10(4), pp. 353-362. doi:10.30486/IJROWA.2021.1903049.1093.
- FUSSY, A. AND PAPANBROCK, J. (2022) 'An Overview of Soil and Soilless Cultivation Techniques—Chances, Challenges and the Neglected Question of Sustainability', *Plants*, 11(9), p. 1153. doi:10.3390/plants11091153.
- GERICKE, W.F. (1937) 'HYDROPONICS—CROP PRODUCTION IN LIQUID CULTURE MEDIA.', *Science (New York, N.Y.)*, 85(2198), pp. 177-178. doi:10.1126/science.85.2198.177.
- GHASEMI-MOBTAKER, H. ET AL. (2022) 'A new method for green forage production: Energy use efficiency and environmental sustainability', *Journal of Cleaner Production*, 363, p. 132562. doi:10.1016/j.jclepro.2022.132562.
- GOLDSTEIN, B. ET AL. (2016) 'Testing the environmental performance of urban agriculture as a food supply in northern climates', *Journal of Cleaner Production*, 135, pp. 984-994. doi:10.1016/j.jclepro.2016.07.004.

- GONNELLA, M. AND RENNA, M. (2021) 'The Evolution of Soilless Systems towards Ecological Sustainability in the Perspective of a Circular Economy. Is It Really the Opposite of Organic Agriculture?', *Agronomy*, 11(5), p. 950. doi:10.3390/agronomy11050950.
- GRUDA, N., BISBIS, M. AND TANNY, J. (2019) 'Impacts of protected vegetable cultivation on climate change and adaptation strategies for cleaner production – A review', *Journal of Cleaner Production*, 225, pp. 324–339. doi:10.1016/j.jclepro.2019.03.295.
- GULOTTA, T.M. ET AL. (2023) 'FLAVIA-LCT – Framework for systematic literature review to analyse vast InformAtion in life cycle thinking studies', *Heliyon*, 9(5), p. e15547. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e15547.
- ILARI, A. ET AL. (2021) 'Life cycle assessment of protected strawberry productions in central Italy', *Sustainability (Switzerland)*, 13(9), p. 4879. doi:10.3390/su13094879.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2006a) 'ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework'.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2006b) 'ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines'.
- KIKUCHI, Y. ET AL. (2018) 'Environmental and resource use analysis of plant factories with energy technology options: A case study in Japan', *Journal of Cleaner Production*, 186, pp. 703–717. doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.110.
- LEDESMA, G., NIKOLIC, J. AND PONS-VALLADARES, O. (2020) 'Bottom-up model for the sustainability assessment of rooftop-farming technologies potential in schools in Quito, Ecuador', *Journal of Cleaner Production*, 274, p. 122993. doi:10.1016/j.jclepro.2020.122993.
- LLORACH-MASSANA, P. ET AL. (2016) 'LCA & LCCA of a PCM application to control root zone temperatures of hydroponic crops in comparison with conventional root zone heating systems', *Renewable Energy*, 85, pp. 1079–1089. doi:10.1016/j.renene.2015.07.064.
- LLORACH-MASSANA, P., PEÑA, J., ET AL. (2017) 'Analysis of the technical, environmental and economic potential of phase change materials (PCM) for root zone heating in Mediterranean greenhouses', *Renewable Energy*, 103, pp. 570–581. doi:10.1016/j.renene.2016.11.040.
- LLORACH-MASSANA, P., MUÑOZ, P., ET AL. (2017) 'N₂O emissions from protected soilless crops for more precise food and urban agriculture life cycle assessments', *Journal of Cleaner Production*, 149, pp. 1118–1126. doi:10.1016/j.jclepro.2017.02.191.

- MAAOUI, M. *ET AL.* (2021) 'Environmental life cycle assessment of Mediterranean tomato: case study of a Tunisian soilless geothermal multi-tunnel greenhouse', *Environment, Development and Sustainability*, 23(2), pp. 1242-1263. doi:10.1007/s10668-020-00618-z.
- MARTIN-GORRIZ, B. *ET AL.* (2021) 'Recycling drainage effluents using reverse osmosis powered by photovoltaic solar energy in hydroponic tomato production: Environmental footprint analysis', *Journal of Environmental Management*, 297, p. 113326. doi:10.1016/j.jenvman.2021.113326.
- MARTIN, M. AND MOLIN, E. (2019) 'Environmental assessment of an urban vertical hydroponic farming system in Sweden', *Sustainability (Switzerland)*, 11(15), p. 4124. doi:10.3390/su11154124.
- MARTIN, M., POULIKIDOU, S. AND MOLIN, E. (2019) 'Exploring the Environmental Performance of Urban Symbiosis for Vertical Hydroponic Farming', *Sustainability*, 11(23), p. 6724. doi:10.3390/su11236724.
- MARTIN, M., WEIDNER, T. AND GULLSTRÖM, C. (2022) 'Estimating the Potential of Building Integration and Regional Synergies to Improve the Environmental Performance of Urban Vertical Farming', *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6(March), pp. 1-18. doi:10.3389/fsufs.2022.849304.
- MASSA, D. *ET AL.* (2020) 'Minimizing water and nutrient losses from soilless cropping in southern Europe', *Agricultural Water Management*, 241, p. 106395. doi:10.1016/j.agwat.2020.106395.
- MOK, H.F. *ET AL.* (2014) 'Strawberry fields forever? Urban agriculture in developed countries: A review', *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), pp. 21-43. doi:10.1007/s13593-013-0156-7.
- MUÑOZ, P. *ET AL.* (2008) 'High decrease in nitrate leaching by lower N input without reducing greenhouse tomato yield', *Agronomy for Sustainable Development*, 28(4), pp. 489-495. doi:10.1051/agro:2008024.
- NICHOLLS, E. *ET AL.* (2020) 'The contribution of small-scale food production in urban areas to the sustainable development goals: a review and case study', *Sustainability Science*, 15(6), pp. 1585-1599. doi:10.1007/s11625-020-00792-z.
- NOTARNICOLA, B. *ET AL.* (2017) 'The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges', *Journal of Cleaner Production*, 140, pp. 399-409. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.071.
- NTINAS, G.K. *ET AL.* (2017) 'Carbon footprint and cumulative energy demand of greenhouse and open-field tomato cultivation systems under Southern and Central European climatic conditions', *Journal of Cleaner Production*, 142, pp. 3617-3626. doi:10.1016/j.jclepro.2016.10.106.

- OBERNDORFER, E. *ET AL.* (2007) 'Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services', *BioScience*, 57(10), pp. 823-833. doi:10.1641/B571005.
- ORSINI, F. *ET AL.* (2013) 'Urban agriculture in the developing world: a review', *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4), pp. 695-720. doi:10.1007/s13593-013-0143-z.
- PAGE, G., RIDOUTT, B. AND BELLOTTI, B. (2012) 'Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production', *Journal of Cleaner Production*, 32, pp. 219-226. doi:10.1016/j.jclepro.2012.03.036.
- PAGE, M.J. *ET AL.* (2021) 'The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews', *Systematic Reviews*, 10(1), p. 89. doi:10.1186/s13643-021-01626-4.
- PARK, H. *ET AL.* (2019) 'Urban food systems that involve trees in Northern America and Europe: A scoping review', *Urban Forestry & Urban Greening*, 45, p. 126360. doi:10.1016/j.ufug.2019.06.003.
- PAYEN, F.T. *ET AL.* (2022) 'How Much Food Can We Grow in Urban Areas? Food Production and Crop Yields of Urban Agriculture: A Meta-Analysis', *Earth's Future*, 10(8). doi:10.1029/2022EF002748.
- PINGALI, P.L. (2012) 'Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(31), pp. 12302-12308. doi:10.1073/pnas.0912953109.
- POPP, J. *ET AL.* (2014) 'The effect of bioenergy expansion: Food, energy, and environment', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, pp. 559-578. doi:10.1016/j.rser.2014.01.056.
- PRADHAN, P. *ET AL.* (2020) 'Urban Food Systems: How Regionalization Can Contribute to Climate Change Mitigation', *Environmental Science & Technology*, 54(17), pp. 10551-10560. doi:10.1021/acs.est.0c02739.
- RAVIV, M. *ET AL.* (2002) 'Substrates and Their Analysis', in Savvas, D. and Passam, H. (eds) *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Athens: Embryo Publications, p. 493. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Michael-Raviv/publication/313419715_Substrates_and_their_analysis/link/s/5a61c0d2a6fdccb61c503f00/Substrates-and-their-analysis.pdf.
- ROTHWELL, A. *ET AL.* (2016) 'Environmental performance of local food: Trade-offs and implications for climate resilience in a developed city', *Journal of Cleaner Production*, 114, pp. 420-430. doi:10.1016/j.jclepro.2015.04.096.
- RUFÍ-SALÍS, M. *ET AL.* (2020) 'Recirculating water and nutrients in urban agriculture: An opportunity towards environmental sustainability and water use efficiency?', *Journal of Cleaner Production*, 261, p. 121213. doi:10.1016/j.jclepro.2020.121213.

- SALOMON, M.J. *ET AL.* (2022) 'Spatiotemporal dynamics of soil health in urban agriculture', *Science of The Total Environment*, 805, p. 150224. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.150224.
- SANYÉ-MENGUAL, E. *ET AL.* (2013) 'Environmental analysis of the logistics of agricultural products from roof top greenhouses in Mediterranean urban areas', *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(1), pp. 100-109. doi:10.1002/jsfa.5736.
- SANYÉ-MENGUAL, E., OLIVER-SOLÀ, J., *ET AL.* (2015) 'An environmental and economic life cycle assessment of rooftop greenhouse (RTG) implementation in Barcelona, Spain. Assessing new forms of urban agriculture from the greenhouse structure to the final product level', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(3), pp. 350-366. doi:10.1007/s11367-014-0836-9.
- SANYÉ-MENGUAL, E., ORSINI, F., *ET AL.* (2015) 'Techniques and crops for efficient rooftop gardens in Bologna, Italy', *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), pp. 1477-1488. doi:10.1007/s13593-015-0331-0.
- SAVVAS, D. AND GRUDA, N. (2018) 'Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review', *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), pp. 280-293. doi:10.17660/eJHS.2018/83.5.2.
- SCHMIDT RIVERA, X. *ET AL.* (2023) 'The role of aeroponic container farms in sustainable food systems – The environmental credentials', *Science of The Total Environment*, 860(August 2022), p. 160420. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.160420.
- SEARCHINGER, T.D. *ET AL.* (2018) 'Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change', *Nature*, 564(7735), pp. 249-253. doi:10.1038/s41586-018-0757-z.
- TOBOSO-CHAVERO, S. *ET AL.* (2021) 'Environmental and social life cycle assessment of growing media for urban rooftop farming', *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(10), pp. 2085-2102. doi:10.1007/s11367-021-01971-5.
- TORRELLAS, M. *ET AL.* (2012) 'Environmental and economic assessment of protected crops in four European scenarios', *Journal of Cleaner Production*, 28, pp. 45–55. doi:10.1016/j.jclepro.2011.11.012.
- VINCI, G. AND RAPA, M. (2019) 'Hydroponic cultivation: life cycle assessment of substrate choice', *British Food Journal*, 121(8), pp. 1801-1812. doi:10.1108/BFJ-02-2019-0112.
- WIMMEROVA, L. *ET AL.* (2022) 'A Comparative LCA of Aeroponic, Hydroponic, and Soil Cultivations of Bioactive Substance Producing Plants', *Sustainability*, 14(4), p. 2421. doi:10.3390/su14042421.

- WOHLIN, C. (2014) 'Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering', in *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering - EASE '14*. New York, New York, USA: ACM Press, pp. 1-10. doi:10.1145/2601248.2601268.

Analysis of the ship recycling market. Enabling factors to advance a new european ship recycling market

Francesco Tola

Università degli Studi della Tuscia

Enrico Maria Mosconi

Università degli Studi della Tuscia

Mattia Gianvincenzi

Università degli Studi della Tuscia

Mariarita Tarantino

Università degli Studi della Tuscia

Alessio Matacera

Università degli Studi della Tuscia

ABSTRACT

The ship recycling industry represents a potential for the emergence of green markets and the use of proximity supply chains for critical raw materials, encouraging the development of a circular economy. The European Union wants to have an active role in this field, with the objective to increase competitiveness, and to increase the number of ships sent to recycling near their own yards. The work proposes to investigate the mechanisms and key factors influencing the market for ship recycling in the EU. This study applies econometric modelling to a dataset compiled from various data sources to provide information on the dynamics of the ship recycling market in Europe. The research highlights the importance of increasing recycling potential through the use of shipyards located outside the EU. It was also suggested that more information should be provided on the number of ships EU flag and that an information exchange platform should be established between yards, using digitisation to increase collaboration and transparency. The use of market indicators such as freight traffic or new ship order book can be used as a forecasting tool to predict possible developments and future ship offerings, enabling the development of recycling strategies and policies. This article aims to contribute to the literature in the field of end-of-life ships. Specifically, a contribution in terms of evaluation and enhancement of the market for ship recycling in Europe and provides valuable insights for the future in a context where the decision-making process evolves continuously.

KEYWORDS: Ship recycling, ship dismantling, regression model, ship recycling market, Circular economy, Blue economy

1 Introduction

Ship recycling represents an inherently sustainable and highly profitable business (Kong et al., 2022). It is a crucial element in ensuring the proper disposal of dismantling ships and the recovery of materials and resources contained within them (Hiremath et al., 2016). This process offers a dual advantage: on one hand, it contributes to the renewal of the global fleet of ships, maintaining a balance between the demand and supply of ships and promoting circular resource supply; on the other hand, ship recycling aims to recycle and reuse materials from decommissioned ships, thus reducing the amount of waste destined for landfills (Dey et al., 2021a). This dual nature of ship recycling makes it an important component of the circular economy, as it enables the recovery of valuable materials and the reduction of environmental impact associated with ship demolition (Sant'Ana et al., 2023). However, it should be noted that the ship recycling industry employs various techniques, each with varying costs and environmental and social impacts (Sujauddin et al., 2017).

Among the main ship dismantling methods, we find beaching, landing, alongside, and dry-docking. Each of these approaches has its characteristics and implications. Beaching is widely used in countries like Bangladesh, India, and Pakistan (Lin, Feng, Wang, et al., 2022). This method involves dragging the ship onto the beach to be dismantled. However, it raises serious concerns about worker safety and environmental pollution, making it a controversial practice (Zhou et al., 2021). Landing, mostly used in Turkey, involves the ship running aground on a shore or a concrete slipway to facilitate dismantling operations. This method is less risky for workers compared to beaching but can still pose safety issues. Alongside, commonly used in China, the European Union, and the United States, involves piece-by-piece dismantling of the immobilized ship on a dock. This method is considered safer than beaching and landing but requires specific port facilities. Finally, dry-docking is the safest and most efficient method and is carried out in enclosed dry docks. However, the costs associated with this method limit its use. The choice of dismantling method often depends on economic considerations but increasingly includes concerns related to worker safety and environmental impact (Samsudin et al., 2022).

Until the 1980s, Europe was the primary center of the ship recycling market (Kodungallur et al., 2012). However, it later shifted to Asia, with Bangladesh, China, India, and Pakistan accounting for most global demolitions (Hossain, 2015). Turkey is also a significant player, making a substantial contribution to the industry. This geographic shift in the market was primarily driven by economic considerations. Asian countries offered lower labor costs and a strong demand for recycled steel, making ship re-

cycling more cost-effective in these regions (Islam & Hossain, 1986; Ko & Gantner, 2016). However, this geographical dispersion has also led to greater diversity in dismantling methods and safety practices.

Considering the financial advantages, there are serious environmental and health dangers associated with the ship recycling sector. Hazardous compounds found aboard ships can poison crew members and contaminate the soil and coastal seas, having negative environmental effects (Jain et al., 2016). Regulations have not yet completely taken effect, despite efforts to raise the industry's health and environmental standards. Therefore, the industry and the scientific community are becoming increasingly interested in the topic of ship recycling as they look for ways to lessen these adverse effects (Dey et al., 2021).

The ship demolition market is influenced by various factors, including the price offered by shipyards for the purchase of Light Displacement Tonnage (LDT), the cost of demolition, and the demand for recycled steel. The choice of demolition location depends on the demand for steel scrap and the costs of demolition activities (Jain & Pruyn, 2017). Countries like Turkey, China, India, Pakistan, and Bangladesh have a strong demand for recycled steel, while Europe and North America have lower demand. This is reflected in the geographical distribution of ship demolition yards (OECD, 2019).

Furthermore, the ship recycling industry plays a crucial role in the economy of South Asia, providing a source of livelihood for many people in the region (Ahasan et al., 2021). This industry not only provides a significant amount of recycled steel but also contributes to the development of the local shipbuilding industry.

The ship recycling market is a constantly evolving sector, adapting to changing global dynamics (Rahman et al., 2021). In recent years, there have been significant transformations in the ship recycling landscape, both in terms of regulations and economics.

At the European Union level, the management of end-of-life ships has been regulated through the EU Ship Recycling Regulation (EU SRR) No. 1257/2013, which came into effect on December 30, 2013. This regulation imposes stringent requirements for the recycling of EU-flagged ships and ships calling at EU ports. It mandates the use of safe and environmentally friendly recycling facilities, prohibits the beaching method, and addresses issues related to the management of hazardous waste and workers' rights. This represents a significant step forward in promoting more sustainable and environmentally friendly recycling practices .

Despite regulatory progress, such as the 2009 Hong Kong Convention, the management of end-of-life ships and the recycling of their materials still pose a global issue characterized by persistent difficulties (IMO,

2009). Policymakers have sought to develop more effective regulatory frameworks to prevent the sale of ships to unsafe and environmentally unfriendly demolition facilities (Lin, Feng, Wan, et al., 2022). However, despite efforts, the situation remains critical and requires further actions to promote more sustainable and environmentally friendly recycling practices. Finally, it should be emphasized that resource circularity and ship demolition activities are closely linked, as both seek to reduce waste and promote sustainable resource use (Mathew, 2022; Okumus et al., 2022). Ship recycling represents an important piece in the realm of sustainable resource management and must be approached with care and responsibility (Rahman & Kim, 2020).

Recent studies suggest the need to further research to identify significant factors that can trigger increased competitiveness of ship recycling in the European Union. According to studies (Tola et al., 2023), it is appropriate to advance research into the identification of significant factors that can influence ship recycling in the European Union. This study aims to understand the factors that can impact ship recycling in the European Union.

2 Methodology

The aim of this study is to examine the variables that may have an impact on the European ship recycling market. Using a multiple linear regression model (MLR), the research issues were addressed. The MLR model is a basic linear regression model extension that enables an analysis of the interactions between independent factors and the dependent variable. MLR analysis is frequently used to explore ideas in a variety of research domains. The literature has already used regression analysis to look at important variables that might have an impact on the ship recycling market (Knapp et al., 2007, 2008; Reddy et al., 2005).

The research methodology is structured into four steps, as illustrated in Figure 1.

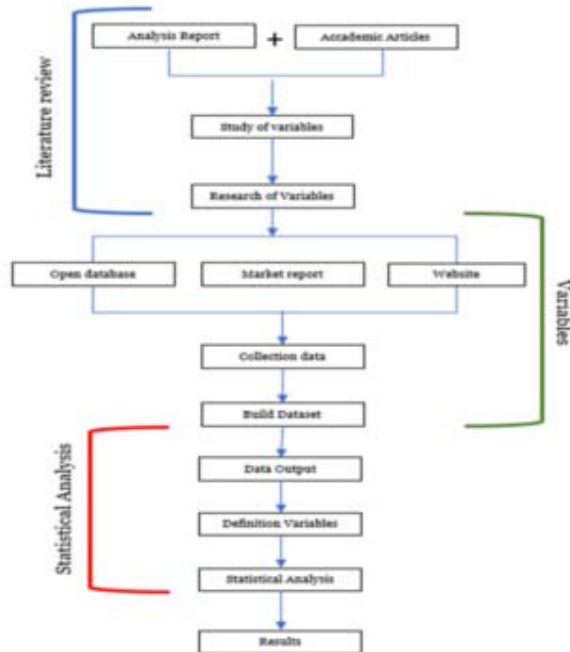


Figure 1 – Methodology of research

As a first step, a comprehensive literature review was conducted on studies that have explored the dynamics of the ship recycling market. Scientific articles and industrial reports were analyzed to identify and document the most appropriate variables for advancing the research. Once the key variables capable of addressing the research questions were identified, they were collected through consultation of open-source databases and websites, ensuring the creation of a dataset.

The dataset comprises three main groups of data:

- Economic Data: This includes construction prices, demolition cost, transport costs, and steel recycling rates.
- Shipyard Data: annual recycling capacity.
- Vessel Data: includes the number of demolished ships and the age of the vessels.

The number of recycled ships in the European Union has been chosen as the dependent variable. The dataset covers the period from 2016 to

2022. The year 2016 was chosen as the starting point since it was the year of publication of the lists of approved shipyards by the European Commission. Data sources were obtained from various open-source databases, including Eurostat, UNCATstat, GMS, BIMCO, Clackson Research, and the NGO ShipBreaking Platform database.

Following the collection of the independent variables, the dataset was constructed. Subsequently, a quantitative approach was adopted to analyze the collected dataset. Statistical techniques and data analysis were utilized to identify relationships and trends among the variables. Descriptive data analysis was conducted to examine the distribution of variables and calculate measures of central tendency and dispersion.

The variables considered and their rationales are visible in Table 1.

Variable	Source
Ship Recycling in Europe	NGO Shipbreaking Platform; Clackson Research
Capacity of recycling shipyard	European Commission
Price LTD	GMS; Hellenic Shipping; London Stock Exchange
Age of ships	NGO Shipbreaking platform
Ship Building	UNCTAD-stat
Maritime Trade	UNCTAD-stat
Circularity Material	Eurostat

Table 1 – Literature references for the variables

The regression model was executed using the R-Studio software. Multiple combinations of variables were examined to understand the impact of specific variables on the ship recycling market.

3 Results and Discussion

The regression model formula is as follows:

$$Y_{eu\ ship\ recycling} = \beta_0 + \beta_{capacity_shipyards} * X1 + \beta_{price_LTD} * X2 + \beta_{age_ships} * X3 + \beta_{shipbuilding} * X4 + \beta_{Maritime\ trade} * X5 + \beta_{Circularity\ Material} * X6 + \varepsilon$$

Table 2 provides a summary of the independent variables considered to be statistically significant.

Ship Recycling in EU						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Capacity of shipyards	0.0012488 **	0.0052398 8-05 **	0.1484005 ***	0.197805** *	0.2247804 ***	0.2506805 ***
Price_LTD		0.523894** *	1.35946**	1.30486**	1,14465***	1.16668***
Age ships			-0.2483+00*	-2.60232*	-1.1749**	-1,6943*
Ship building				0.872482** *	1,18209*	1.12855***
Maritime Trade					0.0729107 *	0.0556368 **
Circularity Material						0.0540312 ***
R ²	0.426	0.6128	0.7349	0.8152	0.876	0.793
Adjusted R ²	0.3113	0.5486	0.6198	0.8056	0.813	0.74027
Residual Std. Error	45.8	17.52	19.91	24.33	11.31	2.204
F-statistic	3.712	27.76	14.36	7.217	28.37	752
p-value	0.112	0.004516	0.02765	0.1254	0.1416	0.02768
*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01						

Table 2 – Multiple Linear Regression

The variable “Capacity of Shipyards” has a significant impact on the number of ships recycling in Europe, as highlighted by the estimated coefficients in various regression models. In all the models analyzed, the coefficient associated with shipyard capacity is statistically significant with very low p-values, suggesting a strong correlation between shipyard capacity and the number of ships demolished in Europe. Specifically, the positive coefficients in all models indicate that an increase in shipyard capacity is associated with a higher number of ship demolitions in Europe. This may reflect the additional capacity to dispose of ships efficiently and in an environmentally sustainable manner, as well as the increased demand for ship demolition services. It is essential to note that these results can have significant implications for industrial policy and resource management in the

European maritime sector. The increase in shipyard capacity can be influenced by investment policies, both public and private, as well as initiatives that promote efficiency and sustainability in ship demolition. Furthermore, to enhance competition in the European ship demolition industry and prevent “structural dumping” by East Asian countries, it may be necessary to establish regulations regarding subsidies and the use of public funding. These regulations should encourage investments with a high European value-added in the ship demolition sector.

The “Price_LTD” variable demonstrates a significant impact on the number of ships demolished in Europe. The coefficient associated with “Price_LTD” is statistically significant with a very low p-value, indicating a strong association between LTD prices and the number of ship demolitions. Specifically, the positive coefficient suggests that an increase in LTD prices is correlated with an increase in ship demolitions in Europe. These results highlight the importance of developing targeted investment policies to address this challenge and reduce the price gap between regions. One possible strategy could include implementing investment policies to bridge the price gap, involving public interventions aimed at promoting higher prices offered by shipyards for the purchase of ships to be demolished. These policies may include establishing robust financial mechanisms that incentivize the competitiveness of the European ship demolition industry. Furthermore, encouraging on-site ship demolition could contribute to the development of the ship demolition market, making it more stimulating and competitive. This approach could be an integral part of a broader investment policy aimed at promoting sustainability and efficiency in the European ship demolition industry while simultaneously closing the price gap with Asia and maintaining global competitiveness.

The “Age_ship” variable reveals a significant relationship with the number of ships demolished in Europe, highlighting that as the age of ships increases, the number of demolitions tends to rise. This result suggests that older ships are more susceptible to being demolished, likely due to obsolescence or difficulty in complying with newer environmental and safety regulations. Given this relationship, it is important to emphasize the need to intensify research and the development of ship demolition prediction models. Such models could be instrumental in identifying at-risk ships in advance, allowing for more efficient demolition planning and sustainable resource management. Furthermore, to manage this dynamic more effectively, it may be appropriate to establish platforms for information exchange between shipyards and shipowners. These platforms would facilitate the sharing of details about the condition of ships and future demolition plans by shipowners. Such information sharing could assist shipyards in better planning their operations and offering competitive prices, thus helping to

streamline the ship demolition process transparently and efficiently in the European ship demolition industry.

The “Ship building” variable reveals a significant relationship with the number of ships demolished in Europe, as indicated by the estimated coefficients in the regression models. Specifically, it is observed that as ship-building activities increase, the number of demolitions tends to rise. This result can be interpreted as an indicator of a dynamic shipbuilding market, where the expansion of construction activities may be correlated with a ship lifecycle that requires more frequent replacement or demolition. Careful monitoring of the ship order portfolio can offer insights into the future of the naval fleet and predict when demolitions may be needed. A significant increase in the order portfolio could signal an imminent uptick in demolitions, as newly ordered ships may drive the replacement of older vessels. Additionally, it can help prevent market overcrowding with new ships, facilitating a smoother transition to a more modern and efficient fleet. This approach underscores the importance of proactive, data-driven analysis to support decision-making in the ship demolition industry.

The “Trade Maritime” variable exhibits a positive regression coefficient, indicating a positive relationship between the volume of maritime trade and the number of ships demolished. This suggests that there is a significant connection between European maritime traffic and the future of the ship demolition industry. The positive coefficient and its associated statistical significance imply that maritime trade could serve as a reliable indicator for predicting future trends in the ship demolition market. It is important to emphasize that adequate monitoring of this variable is essential for accurate and timely analysis of industry dynamics.

The “circularity material” variable has a significant positive coefficient in all model specifications ($p < 0.01$), indicating that an increase in the circularity rate of materials within the European economic system is associated with an increase in the number of ships demolished. This is a scientifically relevant result and consistent with circular economy theories. The possibility of raising recycling standards and industrial policies promoted by the European Union can enhance material circularity and incentivize companies to invest in more sustainable technologies and processes, further promoting ship demolition activity. Additionally, the adoption of circular materials can contribute to creating a growing demand for ship dismantling services, as companies seek to maximize the recovery of such materials. This increased demand can lead to greater specialization and investments in technological innovation, improving the efficiency of the entire demolition process.

4 Conclusions

The regression analysis has revealed that the selected variables can significantly influence the ship recycling market in Europe, providing important insights for industrial policy. Shipyard capacity has emerged as a key factor, with a correlation between an increase in recycling capacity and an increase in ships demolished in the European Union, indicating the need for targeted investment policies to support this growth or potentially expand the customer base of demolition yards to other non-European countries. Similarly, the analysis of LTD prices has highlighted the importance of public interventions to bridge the price gap between regions and promote the competitiveness of the European ship demolition industry. Furthermore, the age of ships has emerged as another significant factor, suggesting the need to develop prediction models to identify at-risk ships in advance and improve demolition management. Monitoring the new ship order portfolio and maritime trade traffic are two fundamental parameters for capturing market developments, representing essential metrics for forecasting and analysis tools. The correlation between shipbuilding activity and the demolition rate has emphasized the importance of closely monitoring the ship order portfolio to anticipate future trends. At the same time, maritime trade has established itself as a reliable indicator to reflect industry dynamics, underscoring the essential need to carefully monitor this variable. The new ship order portfolio and maritime trade traffic are intricately intertwined, as variations in ship construction and demolition volumes directly impact maritime transport capacity and, consequently, the entire global economic landscape. The result of the “circularity material” variable has highlighted how the adoption of circular economy principles and the promotion of stricter recycling standards can further favor ship demolition activity, creating a growing demand for ship recycling services and stimulating technological innovation throughout the process.

Acknowledgements

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

- AHASAN, S., ZAMAN, F.N., & AHMED, T. (2021). *Perspective of Circular Economy in Bangladesh: A Comprehensive Review Towards Ship Demolition Industry*.
- DEY, A., EJOHWOMU, O.A., & CHAN, P.W. (2021). Sustainability challenges and enablers in resource recovery industries: A systematic review of the ship-recycling studies and future directions. *Journal of Cleaner Production*, 329, 129787. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129787>
- HIREMATH, A.M., PANDEY, S.K., & ASOLEKAR, S.R. (2016). Development of ship-specific recycling plan to improve health safety and environment in ship recycling yards. *Journal of Cleaner Production*, C(116), 279–298. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.01.006>
- HOSSAIN, K.A. (2015). Overview of Ship Recycling Industry of Bangladesh. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 05(05). <https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000312>
- IMO. (2009). *Hong Kong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling Of Ships*.
- ISLAM, K.L., & HOSSAIN, M.M. (1986). Effect of ship scrapping activities on the soil and sea environment in the coastal area of Chittagong, Bangladesh. *Marine Pollution Bulletin*, 17(10), 462–463. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(86\)90836-2](https://doi.org/10.1016/0025-326X(86)90836-2)
- JAIN, K.P., & PRUYN, J. (2017). An Overview of the Global Ship Recycling Industry. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 626–647. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.10396-0>
- JAIN, K.P., PRUYN, J.F.J., & HOPMAN, J.J. (2016). Quantitative assessment of material composition of end-of-life ships using onboard documentation. *Resources, Conservation and Recycling*, 107, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.017>
- KNAPP, S., KUMAR, S.N., & BOBO-REMIJN, A.A. (2007). The ship recycling conundrum: an econometric analysis of market dynamics and industry trends. *Econometric Institute Research Papers*. <https://ideas.repec.org/p/ems/eureir/10878.html>
- KNAPP, S., KUMAR, S.N., & REMIJN, A.B. (2008). Econometric analysis of the ship demolition market. *Marine Policy*, 32(6), 1023–1036. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.02.004>
- KO, N., & GANTNER, J. (2016). Local added value and environmental impacts of ship scrapping in the context of a ship's life cycle. *Ocean Engineering*, 122, 317–321. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2016.05.026>

- KODUNGALLUR, S., SOMARAJAN, J., & NANDAKUMAR, C.G. (2012). *Recycling of Decommissioned Naval Fleet*. <https://www.researchgate.net/publication/268426591>
- KONG, X., FENG, K., WANG, P., WAN, Z., LIN, L., ZHANG, N., & LI, J. (2022). Steel stocks and flows of global merchant fleets as material base of international trade from 1980 to 2050. *Global Environmental Change*, 73. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2022.102493>
- LIN, L., FENG, K., WAN, Z., WANG, P., KONG, X., ZHANG, N., HUBACEK, K., & LI, J. (2022). Unexpected side effects of the EU Ship Recycling Regulation call for global cooperation on greening the ship-breaking industry. *Environmental Research Letters*, 17(4), 044024. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AC5A68>
- LIN, L., FENG, K., WANG, P., WAN, Z., KONG, X., & LI, J. (2022). Hazardous waste from the global shipbreaking industry: Historical inventory and future pathways. *Global Environmental Change*, 76, 102581. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2022.102581>
- MATHEW, E. (2022). The Recycling of Ships Act 2019: Prospects for a Sustainable Ship Recycling in India. *Oceans Conference Record (IEEE)*. <https://doi.org/10.1109/OCEANSCHENNAI45887.2022.9775287>
- OECD. (2019). *Ship recycling : An overview* |. https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/ship-recycling_397de00c-en
- OKUMUS, D., GUNBEYAZ, S.A., KURT, R.E., & TURAN, O. (2022). Towards a circular maritime industry: Identifying strategy and technology solutions. *Journal of Cleaner Production*, 382, 134935. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134935>
- RAHMAN, S.M.M., & KIM, J. (2020). Circular economy, proximity, and shipbreaking: A material flow and environmental impact analysis. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120681. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.120681>
- RAHMAN, S.M.M., KIM, J., & LARATTE, B. (2021). Disruption in Circularity? Impact analysis of COVID-19 on ship recycling using Weibull tonnage estimation and scenario analysis method. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105139. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.105139>
- REDDY, M.S., BASHA, S., JOSHI, H.V., KUMAR, V.G.S., JHA, B., & GHOSH, P.K. (2005). Modeling the energy content of combustible ship-scraping waste at Alang–Sosiya, India, using multiple regression analysis. *Waste Management*, 25(7), 747–754. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2004.11.009>
- SAMSUDIN, M.S., ZAINOL, I., SALLEH, Z., LOON, S.C., & ISMAIL, N. (2022). Design of Green Ship Recycling Yards: A Review. *Advanced Structured Materials*, 162, 183–192. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92964-0_18/COVER

- SANT'ANA, J.F., DA SILVA FILHO, A.B., & PEREIRA, N.N. (2023). Identification of sustainable practices applied to ship recycling. *Journal of Cleaner Production*, 389, 136050. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.136050>
- SUJAUDDIN, M., KOIDE, R., KOMATSU, T., HOSSAIN, M.M., TOKORO, C., & MURAKAMI, S. (2017). Ship Breaking and the Steel Industry in Bangladesh: A Material Flow Perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 21(1), 191–203. <https://doi.org/10.1111/JIEC.12423>
- TOLA, F., MOSCONI, E.M., MARCONI, M., & GIANVINCENZI, M. (2023). Perspectives for the Development of a Circular Economy Model to Promote Ship Recycling Practices in the European Context: A Systemic Literature Review. *Sustainability (Switzerland)*, 15(7), 5919. <https://doi.org/10.3390/SU15075919/S1>
- ZHOU, Q., LIANG, J., DU, Z., ZHU, H., & JIAO, Y. (2021). A study on factors affecting workers' safety during ship recycling. *Ocean Engineering*, 239, 109910. <https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2021.109910>

Increasing circularity: a systematic review of the sustainable packaging transition towards the European regulation

Mariarita Tarantino

Università degli Studi della Tuscia

Enrico Maria Mosconi

Università degli Studi della Tuscia

Francesco Tola

Università degli Studi della Tuscia

Mattia Gianvincenzi

Università degli Studi della Tuscia

Alessio Maticera

Università degli Studi della Tuscia

ABSTRACT

Packaging, traditionally considered a mundane element of commerce, is undergoing a profound transformation in response to the escalating environmental concerns. The European GreenDeal initiative led to the definition of the European Regulation for Packaging, which is poised to redefine industry practices, leaving a lasting impact on production methods and packaging machinery. This regulatory framework encompasses critical life-cycle elements like packaging treatment, recycling targets, the implementation of Extended Producer Responsibility (EPR) regulations, and streamlining packaging materials, all intricately connected to market dynamics and the innovative design of packaging products.

In this systematic review, a comprehensive exploration is undertaken, grounded in an extensive body of scientific literature, to meticulously examine the intricate relationship between the structural design of the Regulation and the specific focal areas identified by the European Commission. The aim is to construct a thoroughly evidence-based evaluation, using PSALSAR method, passing through the identification of the sustainability requirements for packaging. The findings unveil reusable packaging and eco-design as standout areas of interest, showcasing their potential to significantly reduce environmental impact. While recyclability is well-addressed in the literature, further research is required in other sectors, such as waste prevention and financial incentives for redesign, to comprehensively grasp the evolving packaging landscape. The ultimate goal of the study is to present a comprehensive perspective on the developmental path within the packaging domain, with a prominent emphasis on the pivotal

role of the circular economy in addressing the persistent challenge of packaging waste.

KEYWORDS: Packaging; Extended Producer Responsibility; Recycling; Reuse; Overpackaging; European Regulation

1 Introduction

The packaging industry has significantly grown in global importance with a rapid increase in market value (Coelho et al., 2020). However, extended global supply chains have led to more packaging material usage and waste (Gustavo et al., 2018). The agri-food sector is particularly affected by packaging problems. In Europe, 27,7% of total packaging and 44% of total plastic packaging is produced in this sector. In addition, packaging accounts for between 20 and 25% of food production costs (European Commission, 2022). To minimize the problem and optimize this crucial industry, there's a need for better design, usage, and end-of-life decisions. Therefore, the European Commission has taken a significant step by defining a comprehensive regulation, poised to replace the previous Directive on Packaging (2018/852/EU), enabling more coherent oversight among European member states.

This regulation sets forth requirements spanning the entire lifecycle of packaging, from material sourcing to ultimate disposal, facilitating its market introduction. The proposal's objectives encompass:

- i The reduction of packaging waste generation;
- ii The advancement of a circular economy in packaging, with a focus on economic efficiency;
- iii The promotion of recycled materials' inclusion in packaging.

The legislative agenda extends beyond mere circularity, striving to not only protect the environment but also invigorate the European Single Market in green sectors.

Strategies to achieve these objectives involve measures to reduce material usage, promote recycling, reusing, and innovation such as compost packaging, along with the adoption of eco-design principles. The effectiveness of these goals is partly realized through the application of regulations influencing Extended Producer Responsibility (EPR). EPR covers the entire supply chain, including production, logistics, and distribution. The regulation imposes limits on hazardous substance concentrations in packaging, requires compliance for market placement, mandates manufacturers to reduce packaging weight and volume while considering safety and functionality. It also establishes provisions for compostable packaging and introduces

specific targets to increase the use of recycled materials in packaging, with a focus on plastic products. Manufacturers are obliged to ensure that a pre-determined percentage of plastic material in packaging is derived from post-consumer plastic waste.

The scientific literature demonstrated only recently have manufacturers started to address the overpackaging issue, adopting concrete initiatives aimed at designing more environmentally sustainable outer packaging (Georgakoudis et al., 2018). Given scientific and technological advancements, the integration of circularity principles into packaging design and production processes, supported by legal instruments such as regulations, also compels the industry to implement policies promoting the adoption of eco-design and sustainable production practices, representing a fundamental step towards more efficient and sustainable resource management (Sumrin et al., 2020). The importance of designing packaging with an eco-design approach takes on further significance within the supply chain system, with significant impacts on logistics costs and environmental sustainability (Silva & Pålsson, 2022). An alignment between science and policymakers is necessary for the transition towards sustainable packaging to be achieved.

For this reason, the research aims to provide an in-depth analysis of the proposed Packaging Regulation's Circular Economy aspects through a systematic literature review, which delves into the changing landscape of scientific research surrounding the regulation's key intervention areas over time. This is particularly crucial as it mirrors the present status and future prospects of the packaging industry, shedding light on both industrial developments and the Circular Economy framework.

2 Methodology

The research aims to establish a correlation between the Proposed Regulation's structure and the specific intervention areas identified by the European Commission, focusing on Waste Prevention, Recyclability, Recycled Content, Compostable Packaging, Reusable Packaging, Financial Costs, Environmental Impact, and Social Impact. This analysis is conducted in conjunction with the scientific literature on packaging, providing a comprehensive and empirically grounded assessment. The PSALSAR methodology is employed for a precise implementation of the Systematic Literature Review (SLR) (Mengist et al., 2019).

Context	In order to facilitate the transition to a circular economy in the European Union, the packaging industry requires further advancements in terms of technological development, industrial innovation, and alignment with market regulations. From a regulatory perspective, the European Commission has adopted various instruments. Specifically, the Regulation Proposal establishing the framework for the development of eco-design specifications for sustainable products.
Input	In order to address the objective outlined in the Regulation Proposal, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted regarding packaging and the areas of intervention envisaged by the Regulation Proposal.
Mechanism	Translation of the Regulation Proposal’s objective in terms of technological advancements, regulatory adjustments, and market dynamics, with a focus on the areas of intervention. In order to fully grasp the context, an analysis of the state of the art and market dynamics related to these areas is carried out.
Outcome	The identification of strengths and weaknesses in scientific research pertaining to the areas of interest, examined in terms of technological advancements and sustainability, is crucial for effectively guiding future scientific investigations. This direction aims to ensure the achievement of the goals set at the European level and facilitate the transition.

Table 1 – Study Protocol Definition Using the CIMO Methodology

Regarding the literature review phase, two major scientific databases, Scopus and Science Direct, were consulted using search strings. The literature review process, based on the PRISMA protocol, includes several key phases: identification, screening, eligibility determination, data extraction, quality assessment, data analysis, and reporting. For the identification phase, search strings were derived from the main areas defined by the European Regulation Proposal:

TITLE; ABS; KEY (“packaging” OR “packge”) AND (“Circular economy” OR “sustainability” OR “environmental” OR “waste”) AND (“industry” OR “regulation” OR “legislative” OR “EPR” OR “machines”) AND (“Life cycle assessment” OR “material” OR “Eco-design” OR “over packaging”) AND (“recyclable” OR “recyclability” OR “recycle” OR “recycling”).

This comprehensive approach led to the identification of 4,628 potentially relevant documents for the literature review. Once collected, the documents were accompanied by information and corresponding abstracts. To facilitate the screening and eligibility determination process, these files were uploaded to the Rayyan platform, following the method outlined by Pellegrini and Marsili (2021). During this phase, eligibility criteria (Table 2) were established to guide both the initial inclusion and exclusion of documents. Special emphasis was given to publications from 2015 to 2023 as the reference time frame for selection.

Eligibility Criteria	Decision
The chosen keywords exist at least in the title or abstract section of the document Inclusion	Inclusion
The document is published in a peer-reviewed scientific journal Inclusion	Inclusion
The document is written in the English language Inclusion	Inclusion
The document investigates the use of alternative materials in packaging Exclusion	Exclusion
Duplicate documents Exclusion	Exclusion
The full document is not available Exclusion	Exclusion
The document is published before 2015 Exclusion	Exclusion

Table 2 – Eligibility criteria established during the assessment phase

Through the eligibility criteria, it was possible to proceed to the operational phase of selecting the articles that form the basis of the Systematic Literature Review (SLR) on the Rayyan platform, following the procedure proposed in Figure 1 of the PRISMA 2020 flowchart. The screening process was divided into several stages:

- Removal of duplicates, both automatically identified by Rayyan and manually. At the end of this process, 2,441 articles remained.
- Exclusion of articles using the platform and manual operations based on keyword interpolation, reducing the number of articles to 1,350.
- Analysis of the remaining articles based on the title and abstract, followed by a manual exclusion process.
- Retrieval of articles searched.

Subsequently, Inclusion Criteria were developed for the Systematic Literature Review. These criteria aim to translate the objectives outlined in the European Regulation Proposal into technical-scientific language, enabling a detailed analysis of the remaining 44 articles. These articles were categorized based on the four key points identified, namely:

- Waste Prevention
- Recyclability
- Compostable Packaging
- Reusable Packaging
- Recycled Content

At the conclusion of the screening process, 44 articles were identified, constituting 1.84% of the total initial articles, excluding duplicates.

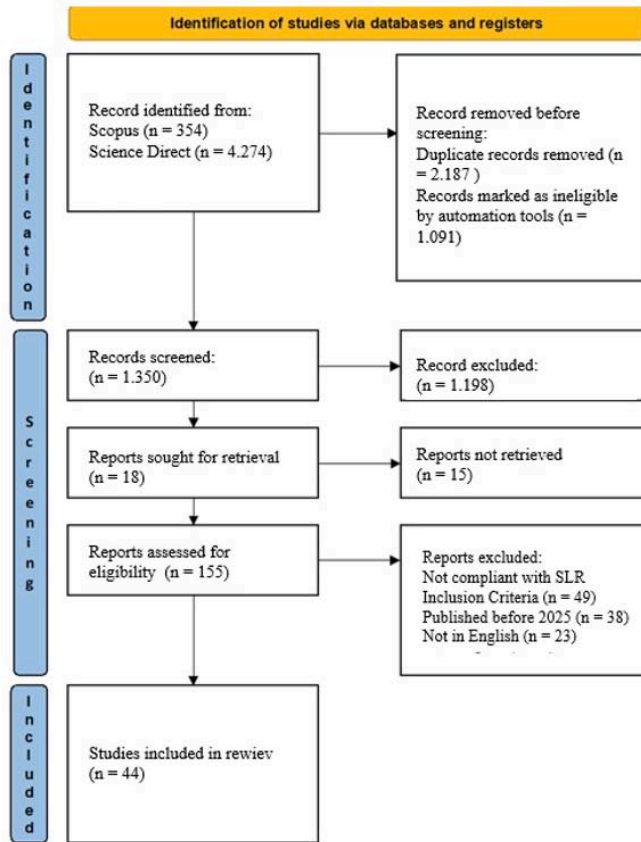


Figure 1 – Prisma 2020 Flow Diagram

Among the included articles, the Journal of Cleaner Production stands out as the international journal with the highest number of cited papers in this SLR, totaling 10 publications, followed by Resources, Conservation & Recycling with 4 articles (Table 3). Regarding publication years, the data indicates that approximately two-thirds of the selected publications are from the last two years, 2022 and 2023, highlighting the increasing importance and relevance of the addressed topics in recent years (Figure 2).

Journal	N°
Journal of Cleaner Production	10
Resources, Conservation & Recycling	4
Waste Management	3
Science of the Total Environment	3
Sustainability	2

Table 3 - Most cited International Journals in the SLR

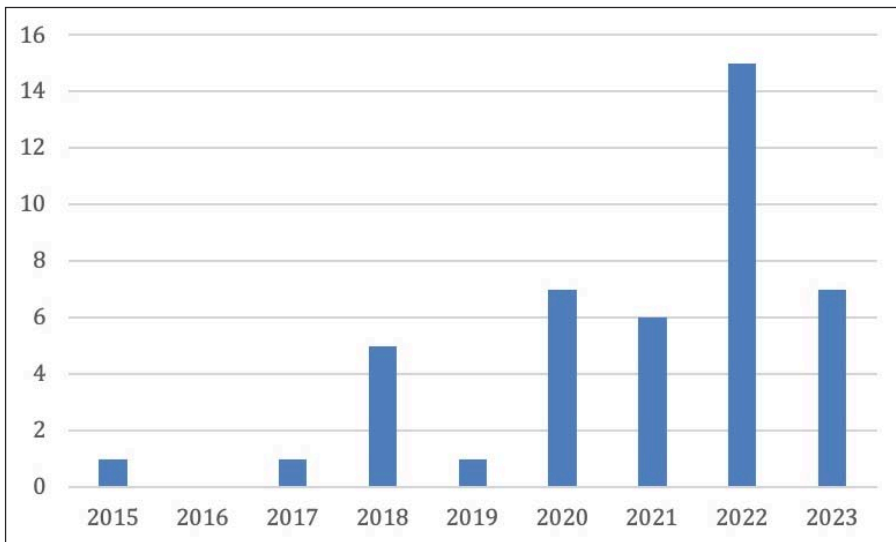


Figure 2 – Publication years of the selected papers

3 Results and Discussion

3.1 Analysis of methodological approaches

In order to address the research questions in a comprehensive manner, an analysis of the methodologies predominantly used by the authors in the selected documents was conducted. The results of the analysis are presented in a balloon graph (Figure 3).



Figure 3 – Predominant Methodological Approaches Utilized

The most commonly utilized methodologies by researchers include Life Cycle Assessment (LCA), interviews, and questionnaire administration. In the majority of the analyzed articles, it is apparent that a combination of methodologies is employed rather than a singular one. As previously elucidated, this approach proves to be essential for achieving comprehensive results and accurately delineating the research. The concurrent utilization of these methodologies enables a more holistic and profound understanding of the implications associated with sustainable packaging, thereby facilitating the addressing of complex and multidimensional challenges inherent in implementing sustainability throughout the packaging lifecycle. Hence, the amalgamation of methodologies stands as an established and crucial practice in the realm of sustainable packaging research, affording a comprehensive and multifaceted perspective on the issue.

3.2 Intervention areas

In the current study, various areas for improvement have been identified through the examination of different articles. These encompass the reduction of environmental impact, optimization of supply chain efficiency, enhancement of the packaging development process, and adherence to prevailing regulations (see Figure 4).

The analysis of the literature reveals that the most prominently investigated area of intervention among scholars is reusable packaging. Mul-

multiple studies have established that the adoption of reusable packaging, both in the context of direct consumer use (B2C) and in commercial settings (B2B), can result in substantial reductions in material consumption. The implementation of reusable, multi-purpose containers yields a 65% reduction in energy consumption, a 75% decrease in solid waste production, and a noteworthy decrease in emissions of greenhouse gases when compared to single-use packaging (Coelho et al., 2020). The design of reusable packaging stands as a significant contributor to reducing environmental impact, empowering businesses to curtail waste and resource utilization (Firoozi Nejad et al., 2021; Li et al., 2018; Silva & Pålsson, 2022).

Nonetheless, it is worth emphasizing that the most influential factors in determining environmental impacts of reusable packaging are geographical distances and filling rates (Friederike Sträter & Rhein Katharina Friederike Sträter, 2023). Supply chains characterized by long geographical distances or low filling rates tend to favor disposable systems (Lu et al., 2022). Regulatory measures also play a pivotal role in stimulating the development of reusable packaging solutions in the market. These measures include bans on single-use packaging, taxation, and the mandatory implementation of deposit systems (Beswick-Parsons, 2023; Agnusdei, 2022).

It is imperative to implement a range of reuse strategies tailored to specific product categories. For instance, products with a high potential for reuse, such as fruits, eggs, and bottled water, require more ambitious strategies (Lin et al., 2023). The adoption of reuse practices results in reduced recycling rates and waste-to-incineration ratios for packaging waste, with significant impacts on supply chain dynamics, packaging eco-design considerations, and various environmental and economic variables (Tan et al., 2023).

Another sector of considerable interest lies in Waste Prevention. De Canio (2023) underscores the significance of effective policies and guidelines aimed at promoting recycling and the utilization of recycled packaging materials. The harmonization of waste collection regulations and methodologies across all European Union member states would be desirable to enhance industrial investments.

Within this realm, the literature predominantly centers on the minimization of environmental impacts through various strategies, including Extended Producer Responsibility (EPR) and packaging reduction, while also delving into the associated regulatory implications. The EPR principle stands as a fundamental lever, as it obligates manufacturers to assume responsibility for the entire lifecycle of their products, including the management of waste generated by them.

This also has implications for the design of over-packaged packaging. E-commerce stands out as one of the sectors exhibiting a pronounced trend toward over-packaging. According to Escursell et al. (2020), the

growth of e-commerce is directly linked to an increase in packaging waste, resulting in a significant environmental impact. In contrast, traditional retail can reduce CO₂ emissions by up to 84% when compared to e-commerce, although the latter proves more efficient for extra-urban deliveries over long distances. Furthermore, excessive product packaging not only has environmental ramifications but also impacts the “green” brand image, subsequently influencing consumer perception (Chen et al., 2017).

As a consequence, manufacturers are urged to enhance packaging design to streamline logistical operations, leading to cost reductions in areas such as storage and transportation. It’s worth noting that over-packaging can account for up to 65% of the total product cost (Georgakoudis & Tipi, 2020). It’s important to highlight that consumer resistance to reduced packaging is often linked to perceived quality diminishment. However, research conducted by Escursell et al. (2020) has shown that non-overpackaged products need not correlate with reduced quality.

In order to incentivize manufacturers to make design modifications aimed at waste reduction, Extended Producer Responsibility (EPR), in conjunction with regulatory measures, plays a pivotal role (Walls, 2016). EPR mechanisms can facilitate the establishment of more efficient waste collection systems and encourage the adoption of innovations in eco-friendly design (Pouikli, 2020). However, it’s crucial to highlight that in Europe, packaging collection rates remain relatively low in established EPR systems and are exceedingly limited in developing countries (Compagnoni, 2022). Therefore, the need for a variety of strategies to enhance EPR’s effectiveness within a circular economy framework is evident. One key strategy involves fostering greater synergy between EPR and product design, as a significant portion of EPR discussions still primarily revolves around the “End of Life” aspect (Campbell-Johnston et al., 2021). It’s pertinent to note that, in this context, there is a notable absence of focus on improving the packaging development process, which offers opportunities for future research.

Recyclability and innovation in product and packaging design have the potential to deliver substantial environmental benefits, contributing significantly to the EU’s established goals (Seier et al., 2023). It is crucial to take into account the end-of-life cycle of packaging materials right from the design phase (Zhu et al., 2022). The exploration of synergies across the entire supply chain, from upstream to downstream, allows for data-driven modifications aimed at improving material quality, efficiency, and sustainability (Hahladakis & Iacovidou, 2018).

Therefore, during the design phase, material selection should prioritize those that are easily recyclable (Panchal et al., 2021). For example, as demonstrated in Moyaert et al.’s 2022 study on recyclable packaging, single-layer plastic packaging is preferred over multilayer plastic and paper

packaging due to its greater recyclability. It is imperative for companies to actively work on increasing consumer willingness to invest in more recyclable products (De Canio, 2023).

In the realm of packaging development, Gardas et al. (2019) recommend further exploration of emerging technologies, such as additive manufacturing and 3D printing, to conceive innovative packaging solutions. These technologies have the potential to create packaging that is better suited to the shape and volume of the products it contains, all while using fewer materials.

Regulations play a pivotal role by establishing mandatory targets for recycled content. As highlighted by Antonopoulos et al. (2021), it is crucial to implement certification schemes that can track activities along the supply chain, potentially enhancing transparency and traceability in the supply chain. Despite regulatory incentives, the industry's utilization of recycled materials remains restricted and constrained (Ragaert et al., 2019). Challenges associated with recycled materials primarily revolve around consumer perception and issues related to contamination and material properties. Recycled polymers often exhibit inferior mechanical performance compared to virgin polymers (Radusin et al., 2020).

In this context, design assumes a fundamental role in shaping quality standards and, consequently, consumer perceptions of packaging crafted from recycled materials. Meticulous design considerations, including factors like color, odor, and material properties, can positively influence consumer perceptions, thereby helping establish new criteria for acceptability regarding variations in the color, odor, and material properties of packaging made from recycled materials (Roithner & Rechberger, 2020).

Environmental impact is profoundly affected by packaging and its associated waste. As discussed by Herrera et al. (2022), plastic packaging containing intentionally added chemical additives during production to confer specific properties, such as color, flexibility, heat resistance, UV resistance, or fire resistance, can release chemicals into the environment during the plastic degradation process. When evaluating environmental impact, it is essential to consider not only the impact of the packaging itself but also that of the product it contains.

For example, it has been demonstrated that incorporating food waste into Life Cycle Assessment (LCA) studies of packaging systems is of utmost importance, as this inclusion can significantly modify the results obtained. The link between packaging design and food waste management needs to be acknowledged and valued by all relevant stakeholders, including food producers, manufacturers, brand holders, retailers, and consumers. Furthermore, it should be incorporated into packaging regulations (Wikström et al., 2013).

Compostable Packaging refers to a type of packaging that can be sustainably disposed of through composting. This means that the packaging can be transformed into compost, a type of fertilizer, through a process in which organic materials are broken down by microorganisms under controlled conditions. According to Hossain et al. (2022), the projected global production of bioplastics for 2024 amounts to 2.43 million tons, showing a modest 15% increase compared to 2019, with a documented production capacity of 2.11 million tons. This gradual increase can be attributed to limited consumer awareness. Bioplastics present an opportunity to contribute to reducing environmental impact; however, it is essential to apply the precautionary principle to avoid the risk of shifting environmental burdens (Kakadellis et al., 2022).

The inclusion of land-use change assessment can have a significant impact on the environmental performance evaluation of bioplastics compared to conventional plastics. Accounting for emissions related to such land-use changes can dramatically influence the conclusions of Life Cycle Assessment studies on the environmental impact of bioplastics. Therefore, the environmental performance of bioplastics may require reassessment, potentially making them less sustainable than traditional plastics in certain scenarios (Bishop et al., 2021).

Research indicates that, despite the potential of bioplastics, consumers often perceive them as a form of “greenwashing” rather than a sustainable alternative to conventional plastics (Herrmann et al., 2022).

In the sphere of the Social Impact sector, the size of packaging and food safety information, such as labeling and expiration dates, have had a notable impact on the volume of food waste produced in households (Medina-Mijangos et al., 2021). Therefore, it is imperative that packaging is thoughtfully designed to hold the right amount of food and provide transparent, accurate guidance on product safety and proper storage. This, in turn, plays a vital role in reducing food waste within households (En Williams et al., 2020).

In the context of Financial Costs, the literature underscores that economic incentives serve as the primary catalyst for redesign efforts, which, in turn, yield environmental benefits (Gustavo et al., 2018). A tangible illustration of this is the redesign process for paper packaging, focused on optimizing vehicle space utilization during transportation. This process offers several advantages, encompassing enhanced logistics and cost-related aspects. These benefits include an augmented total volume of transported products and a further reduction in the overall weight of packaging per unit load (Georgakoudis et al., 2018).

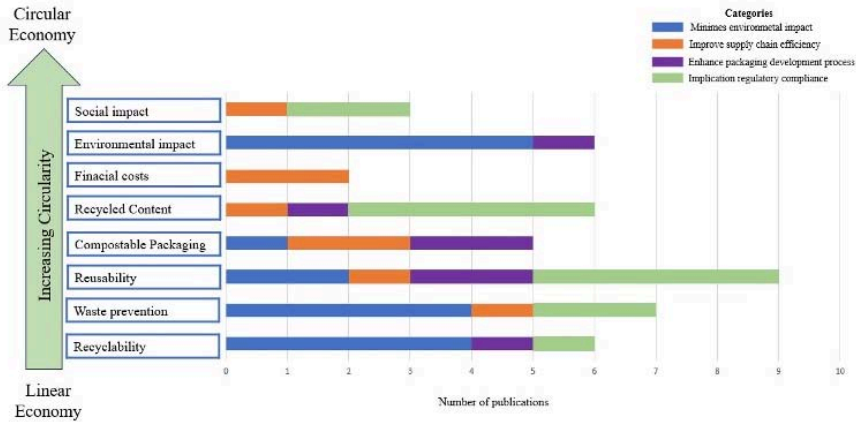


Figure 4 – Publications per research area toward Circular Economy

The aim of Figure 4 is to provide an overview of the current state of literature and identify potential research gaps concerning the designated areas for improvement. Articles have been categorized based on the areas of interest outlined in the Regulation and assessed with regard to the identified areas for enhancement, which encompass minimizing environmental impact, optimizing supply chain efficiency, improving packaging development processes, and ensuring compliance with existing regulations. With the exception of the “Reusability” sector (Figure 4), which adheres to all four identified criteria, the analysis of results highlights a shortage of studies in the other areas. This underscores the need for future research endeavors dedicated to bolstering and deepening our comprehensive understanding of the intervention areas specified in the Regulatory Proposal. Such efforts will provide a comprehensive perspective, both from a scientific and industrial standpoint, regarding the trajectory of packaging development.

4 Conclusions

The present research contributes by analyzing the relationship between the European Commission’s Packaging and Packaging Waste Proposal and its intervention areas, exploring the potential of packaging and eco-design in reducing environmental impact. The results emphasize the importance of conducting further studies focused on waste prevention and assessing financial incentives to promote effective design.

During the analysis, prevalent methodologies such as Life Cycle

Assessment (LCA), Literature Review, and Economic Analysis were considered. The research highlights particular attention to reusable packaging, deemed a promising solution for reducing material consumption and environmental impact. Additionally, the study underscores the significant role of regulations in promoting reusable packaging solutions in the market. However, limited use of recycled materials persists in the industry, primarily due to challenges such as consumer perception and material properties.

Limitations should be acknowledged. The research process may not have included some relevant studies, potentially impacting the results. Furthermore, the systematic categorization of articles might have been structured differently. These limitations should be considered in interpreting the findings.

Furthermore, the research identifies the need for further exploration in several key:

1. *Waste Prevention*

- Investigate the potential of new materials and design techniques to reduce the amount of packaging required. For example, research could be conducted on edible or biodegradable packaging, intelligent packaging that can detect and respond to spoilage, or packaging that can be easily repaired and reused.
- Develop innovative packaging solutions for specific products and applications. For example, research could be conducted on packaging that can extend the shelf life of fresh produce, reduce food waste during transport and storage, or provide superior protection for fragile products.
- Design packaging systems that are optimized for circularity. This could involve developing packaging that is easy to disassemble, recycle, and compost, or designing packaging systems that can be integrated with existing recycling and composting infrastructure.

2. *Assessment of Economic Incentives*

- Evaluate the effectiveness of different economic incentives for promoting sustainable packaging design. For example, research could be conducted on the impact of different tax rates on virgin and recycled materials, the cost-effectiveness of different subsidy programs, and the impact of extended producer responsibility (EPR) programs on industry behavior.
- Develop a better understanding of the economic drivers of packaging design decisions. This could involve research on the factors that influence the cost of packaging, the impact of packaging on

product pricing and sales, and the role of packaging in brand differentiation.

- Identify innovative economic mechanisms that can support the transition to a more sustainable packaging system. For example, research could be conducted on the potential of green bonds, impact investing, and circular economy business models.

3. *Recycled Materials*

- Develop new technologies to improve the quality and consistency of recycled materials. This could involve research on new sorting and cleaning methods, advanced recycling technologies, and the use of additives to improve the performance of recycled polymers.
- Identify and address the technical challenges associated with using recycled materials in specific packaging applications. For example, research could be conducted on developing recycled materials that meet the food safety requirements for food packaging or developing recycled materials that can withstand the high temperatures and pressures used in certain manufacturing processes.
- Explore the potential of new recycled materials, such as post-consumer recycled plastics and recycled materials from bio-based sources. For example, research could be conducted on developing new packaging applications for these materials and on identifying ways to improve their performance and cost-effectiveness.

4. *Eco-design*

- Develop design guidelines and tools to help packaging designers implement eco-design principles. This could involve research on developing new design metrics and assessment tools, as well as developing design software that can help designers to optimize their packaging designs for sustainability.
- Explore the use of emerging technologies, such as 3D printing and additive manufacturing, to create more sustainable packaging designs. For example, research could be conducted on developing new packaging materials and structures that can be produced using these technologies, or on developing new ways to use these technologies to repair and reuse existing packaging.
- Investigate the potential of collaborative design approaches to promote innovation in sustainable packaging. For example, research could be conducted on developing new ways to connect packaging designers with suppliers of sustainable materials and technologies, or on developing platforms for sharing and co-developing sustainable packaging designs.

5. *Regulatory Compliance*

- Evaluate the effectiveness of existing packaging regulations and identify areas for improvement. For example, research could be conducted on the impact of EPR programs on recycling rates, the effectiveness of eco-labeling schemes in influencing consumer choices, and the role of mandatory sustainability standards in promoting sustainable packaging design.
- Develop new regulatory frameworks that support the transition to a more sustainable packaging system. For example, research could be conducted on developing new regulations that promote the use of recycled materials in packaging, reduce the use of single-use plastics, or promote the design of packaging for circularity.
- Investigate the potential of market-based instruments, such as carbon pricing or product stewardship programs, to promote sustainable packaging practices. For example, research could be conducted on the impact of carbon pricing on the development and adoption of sustainable packaging technologies, or on the effectiveness of product stewardship programs in reducing the environmental impact of packaging.

6. *Full Lifecycle Analysis*

- Further research should employ comprehensive life cycle assessments (LCA) that consider the entire lifecycle of packaging, including the use phase and end-of-life scenarios. This may involve advanced modeling and data collection techniques to provide a holistic view of environmental impacts, accounting for factors such as consumer behavior and disposal methods.

7. *Social Impacts*

- Future studies may explore the social aspects of sustainability in packaging, investigating consumer perceptions, preferences, and behaviors regarding eco-friendly packaging. Research might use surveys, focus groups, and social life cycle assessments to provide insights into how packaging design can influence consumer choices and drive sustainable consumption patterns.

References

- AGNUSDEI, G.P., GNONI, M.G., & SGARBOSSA, F. (2022). Are deposit-refund systems effective in managing glass packaging? State of the art and future directions in Europe. *Science of the Total Environment*, 851. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.158256>
- ANTONOPOULOS, I., FARACA, G., & TONINI, D. (2021). Recycling of post-consumer plastic packaging waste in the EU: Recovery rates, material flows, and barriers. *Waste Management*, 126, 694–705. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2021.04.002>
- BESWICK-PARSONS, R., JACKSON, P., & EVANS, D.M. (2023). Understanding national variations in reusable packaging: Commercial drivers, regulatory factors, and provisioning systems. *Geoforum*, 145, 103844. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2023.103844>
- BISHOP, G., STYLES, D., & LENS, P.N.L. (2021). Environmental performance comparison of bioplastics and petrochemical plastics: A review of life cycle assessment (LCA) methodological decisions. *Resources, Conservation and Recycling*, 168. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105451>
- CAMPBELL-JOHNSTON, K., DE MUNCK, M., VERMEULEN, W.J.V., & BACKES, C. (2021). Future perspectives on the role of extended producer responsibility within a circular economy: A Delphi study using the case of the Netherlands. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 4054-4067. <https://doi.org/10.1002/BSE.2856>
- CHEN, Y.S., HUNG, S.T., WANG, T.Y., HUANG, A.F., & LIAO, Y.W. (2017). The influence of excessive product packaging on green brand attachment: The mediation roles of green brand attitude and green brand image. *Sustainability (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/SU9040654>
- COELHO, P.M., CORONA, B., TEN KLOOSTER, R., & WORRELL, E. (2020). Sustainability of reusable packaging-Current situation and trends. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 6, 100037. <https://doi.org/10.1016/J.RCRX.2020.100037>
- COMPAGNONI, M. (2022). Is Extended Producer Responsibility living up to expectations? A systematic literature review focusing on electronic waste. *Journal of Cleaner Production*, 367, 133101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133101>
- DE CANIO, F. (2023). Consumer willingness to pay more for pro-environmental packages: The moderating role of familiarity. *Journal of Environmental Management*, 339, 117828. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117828>

- EN WILLIAMS, H., LINDSTR, A., OM, €, TRISCHLER, J., WIKSTR, F., & ROWE, Z. (2020). *Avoiding food becoming waste in households e The role of packaging in consumers' practices across different food categories*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121775>
- ESCURSELL, S., LLORACH-MASSANA, P., & RONCERO, M.B. (2020). *Sustainability in e-commerce packaging: A review*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124314>
- FIROOZI NEJAD, B., SMYTH, B., BOLAJI, I., MEHTA, N., BILLHAM, M., & CUNNINGHAM, E. (2021). *Carbon and energy footprints of high-value food trays and lidding films made of common bio-based and conventional packaging materials*. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100058>
- FRIEDERIKE STRÄTER, K., & RHEIN KATHARINA FRIEDERIKE STRÄTER, S.P. (2023). *Plastic packaging: Are German retailers on the way towards a circular economy? Companies' strategies and perspectives on consumers*. <https://doi.org/10.14512/gaia.32.2.7>
- GARDAS, B.B., RAUT, R.D., & NARKHEDE, B. (2019). *Identifying critical success factors to facilitate reusable plastic packaging towards sustainable supply chain management Sustainability Multi-criteria decision-making Lean production Interpretive structural modeling Total interpretive structural modeling*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.113>
- GEORGAKOUDIS, E.D., & TIPI, N.S. (2020). *International Journal of Sustainable Engineering ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: https://www.tandfonline.com/loi/tsue20 An investigation into the issue of overpackaging-examining the case of paper packaging An investigation into the issue of overpackaging-examining the case of paper packaging*. <https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1780337>
- GEORGAKOUDIS, E.D., TIPI, N.S., & BAMFORD, C.G. (2018). Packaging redesign—benefits for the environment and the community. *International Journal of Sustainable Engineering*, 11(5), 307-320. <https://doi.org/10.1080/19397038.2018.1445789>
- GUSTAVO, J.U., PEREIRA, G.M., BOND, A.J., VIEGAS, C.V., & BORCHARDT, M. (2018). Drivers, opportunities and barriers for a retailer in the pursuit of more sustainable packaging redesign. *Journal of Cleaner Production*, 187, 18-28. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.03.197>
- HAHLADAKIS, J.N., & IACOVIDOU, E. (2018). Closing the loop on plastic packaging materials: What is quality and how does it affect their circularity? *Science of The Total Environment*, 630, 1394-1400. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.02.330>

- HERRERA, A., ACOSTA-DACAL, A., PÉREZ LUZARDO, O., MARTÍNEZ, I., RAPP, J., REINOLD, S., MONTESDEOCA-ESPONDA, S., MONTERO, D., & GÓMEZ, M. (2022). Bioaccumulation of additives and chemical contaminants from environmental microplastics in European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Science of The Total Environment*, 822, 153396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153396>
- HERRMANN, C., RHEIN, S., & STRÄTER, K.F. (2022). *Consumers' sustainability-related perception of and willingness-to-pay for food packaging alternatives*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106219>
- HOSSAIN, R., ISLAM, T., GHOSE, A., & SAHAJWALLA, V. (2022). Full circle: Challenges and prospects for plastic waste management in Australia to achieve circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133127>
- KAKADELLIS, S., LEE, P.H., & HARRIS, Z.M. (2022). Two Birds with One Stone: Bioplastics and Food Waste Anaerobic Co-Digestion. *Environments - MDPI*, 9(1), 9. <https://doi.org/10.3390/ENVIRONMENTS9010009/S1>
- LI, D., ZHAO, Y., ZHANG, L., CHEN, X., & CAO, C. (2018). Impact of quality management on green innovation. *Journal of Cleaner Production*, 170, 462-470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.158>
- LIN, H.T., CHIANG, C.W., CAI, J.N., CHANG, H.Y., KU, Y.N., & SCHNEIDER, F. (2023). Evaluating the waste and CO2 reduction potential of packaging by reuse model in supermarkets in Taiwan. *Waste Management*, 160, 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.01.028>
- LU, Z., HASSELSTRÖM, L., FINNVEDEN, G., & JOHANSSON, N. (2022). Cost-benefit analysis of two possible deposit-refund systems for reuse and recycling of plastic packaging in Sweden. *Cleaner Waste Systems*, 3, 100048. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100048>
- MEDINA-MIJANGOS, R., AJOUR, S., ZEIN, E., GUERRERO-GARCÍA-ROJAS, H., & SEGUÍ-AMÓRTEGUI, L. (n.d.). *The economic assessment of the environmental and social impacts generated by a light packaging and bulky waste sorting and treatment facility in Spain: a circular economy example*. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00519-6>
- MOYAERT, C., FISHEL, Y., LORENZ, NUETEN, V., CENCIC, O., RECHBERGER, H., BILLEN, P., & NIMMEGEERS, P. (2022). *Using Recyclable Materials Does Not Necessarily Lead to Recyclable Products: A Statistical Entropy-Based Recyclability Assessment of Deli Packaging*. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c04076>
- PANCHAL, R., SINGH, A., & DIWAN, H. (2021). *Economic potential of recycling e-waste in India and its impact on import of materials*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102264>

- POUIKLI, K. (2027). Concretising the role of extended producer responsibility in European Union waste law and policy through the lens of the circular economy. *ERA Forum*, 20, 491–508. <https://doi.org/10.1007/s12027-020-00596-9>
- RADUSIN, T., NILSEN, J., LARSEN, S., ANNFINSEN, S., WAAG, C., SØRFLATEN EIKELAND, M., KVALVÅG PETTERSEN, M., & FREDRIKSEN, B. (2020). *Use of recycled materials as mid layer in three layered structures-new possibility in design for recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120876>
- RAGAERT, K., HUYSVELD, S., VYNCKE, G., HUBO, S., VEELAERT, L., DEWULF, J., & BOIS, D. (2019). *Design from recycling: A complex mixed plastic waste case study*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104646>
- ROITHNER, C., & RECHBERGER, H. (n.d.). *Implementing the dimension of quality into the conventional quantitative definition of recycling rates*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.034>
- SEIER, M., ROITNER, J., ARCHODOULAKI, V.M., & JONES, M.P. (2023). Design from recycling: Overcoming barriers in regranulate use in a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 196, 107052. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2023.107052>
- SILVA, N., & PÅLSSON, H. (2022). Industrial packaging and its impact on sustainability and circular economy: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 333, 130165. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130165>
- TAN, Q., YANG, L., WEI, F., CHEN, Y., & LI, J. (2023). Is reusable packaging an environmentally friendly alternative to the single-use plastic bag? A case study of express delivery packaging in China. *Conservation & Recycling*, 190, 106863. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106863>
- WALLS, M. (n.d.). *Extended Producer Responsibility and Product Design Economic Theory and Selected Case Studies*. Retrieved October 5, 2023, from www.rff.org
- WIKSTRÖM, F., WILLIAMS, H., VERGHESE, K., & CLUNE, S. (2013). *The influence of packaging attributes on consumer behaviour in food-packaging life cycle assessment studies-a neglected topic*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.042>
- ZHU, Z., LIU, W., YE, S., & BATISTA, L. (2022). *Packaging design for the circular economy: A systematic review*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.06.005>

Automazione e machine learning per la tracciabilità e rintracciabilità del caffè

Leonardo Agnusdei
Università del Salento

ABSTRACT

Il caffè è una delle bevande più consumate al mondo e l'industria globale del caffè vale oltre 100 miliardi di dollari ed è in crescita. Avendo una scala così vasta, l'industria del caffè, più di ogni altra, è chiamata ad affrontare la sfida della sostenibilità. La tracciabilità dell'origine è uno degli elementi chiave per garantire una produzione etica e sostenibile nel settore. Lo sviluppo di un sistema per selezionare i chicchi di caffè e garantirne l'autenticità comporterebbe vantaggi economici per l'industria del caffè, poiché consentirebbe di evitare frodi e aumentare la fiducia dei consumatori. Tuttavia, tale tipo di tracciabilità è difficile da conseguire facendo affidamento sui tradizionali processi di filiera. Gli approcci basati sul vicino infrarosso, già studiati in letteratura, hanno un enorme potenziale nell'acquisire informazioni sulle proprietà dei chicchi di caffè, senza richiedere procedure invasive. Tale studio evidenzia il potenziale di scalabilità dei metodi automatizzati di manipolazione e acquisizione di immagini dei chicchi di caffè, dalla scala sperimentale all'industrializzazione, nell'ambito della filiera del caffè. Una soluzione basata sull'interazione di un sistema di manipolazione, una stazione di acquisizione spettrometrica NIR integrata con un'infrastruttura di apprendimento automatico e un classificatore ad aria compressa consente la separazione automatica dei chicchi di caffè in diverse classi di origine. Oltre alla tracciabilità, l'industrializzazione di tale sistema offre ulteriori vantaggi, tra cui la riduzione del bisogno di manodopera, la minore soggettività nella valutazione della qualità e l'acquisizione di dati in tempo reale finalizzata all'etichettatura.

KEYWORDS: caffè; tracciabilità; image acquisition; NIR; industrializzazione; sostenibilità.

1. Introduzione

Nell'ultimo decennio, la domanda di chicchi di caffè come materia prima per la produzione della bevanda di caffè è cresciuta esponenzialmente (Prasetyo et al., 2022). A livello globale, il caffè rappresenta una delle bevande analcoliche più apprezzate (Pancsira, 2022). Si stima che ogni giorno si consumino oltre due miliardi di tazze di caffè (Safe et al., 2023). I chicchi

di caffè rappresentano pertanto una merce agricola ad alto valore, tanto da essere stata definita “oro nero” (Chen et al., 2022). In effetti, il valore commerciale globale del caffè supera i 100 miliardi di dollari (Le et al., 2022). Il caffè contiene una complessa miscela chimica con oltre mille composti chimici, che contribuiscono alle sue caratteristiche sensoriali (George et al., 2008). La qualità del caffè è strettamente legata ai componenti chimici dei chicchi verdi che, durante la tostatura, diventano precursori dei composti presenti nella bevanda finale (dos Santos Scholz et al., 2018).

La pianta del caffè appartiene al genere *Coffea* e alla famiglia delle Rubiaceae (Levate Macedo et al., 2021). *Coffea arabica* (varietà arabica) e *Coffea canephora* (varietà robusta) sono le specie con il maggior impatto economico e commerciale (Lyrio et al., 2023). Le due varietà di caffè differiscono sia botanicamente che per caratteristiche qualitative. La varietà Robusta è nota per la sua amarezza e astringenza, mentre la varietà Arabica offre tipicamente un sapore più raffinato ed un aroma più intenso (Neacsu, 2018). Tuttavia, le caratteristiche fisiche e sensoriali di tali varietà di caffè possono essere influenzate dalle condizioni meteorologiche, dalla composizione del suolo, dalle pratiche agricole, dalla lavorazione post-raccolta e da problemi legati agli insetti (Barea-Ramos et al., 2022). La qualità finale della bevanda di caffè e il prezzo del prodotto sono strettamente legati alla qualità e alla varietà della materia prima (Garcia et al., 2018).

In questo contesto, la tracciabilità dei chicchi verdi di caffè è diventata imprescindibile per evitare frodi e aumentare la soddisfazione dei consumatori (Baqueta et al., 2020). Tuttavia, l'identificazione dell'origine del caffè basata sulla valutazione dei chicchi verdi richiede specifiche conoscenze tecniche. Inoltre, la tracciabilità può essere influenzata da errori visivi umani, affaticamento e disparità nella valutazione.

Per superare queste limitazioni, possono essere adottati gli approcci spettroscopici nel vicino e medio infrarosso (NIR e MIR), i quali rappresentano strumenti molto potenti per ottenere rapidamente informazioni sull'origine e sulle proprietà dei chicchi di caffè, in modo non invasivo, garantendo la tracciabilità dei chicchi di caffè (Giraud et al. al., 2019).

La banda degli infrarossi (IR) dello spettro elettromagnetico, con lunghezze d'onda che vanno da 800 nm a 1 mm, presenta un'ampia gamma di livelli energetici. A causa di questa diversità, la spettroscopia nell'intera regione IR non può essere trattata in modo univoco. Pertanto, nel corso degli anni sono emerse tecniche spettroscopiche distinte, tra cui la spettroscopia nel medio infrarosso (MIR) (Hasegawa e Ozaki, 2017), quella nel vicino infrarosso (NIR) (Ozaki et al., 2021) e quella nel lontano infrarosso (FIR) (Hong et al., 2021). La NIR può essere considerata come lo strumento spettroscopico più adatto per valutare le caratteristiche chimiche e fisiche dei prodotti alimentari (Teye et al., 2013).

La regione del NIR (lunghezza d'onda compresa tra 800 e 2500 nanometri) rappresenta la zona in cui le bande fondamentali delle vibrazioni molecolari non vengono rilevate (Ozaki, 2021). La spettroscopia nel vicino infrarosso (NIRS) è ampiamente utilizzata come metodo di rilevamento rapido e non distruttivo, trovando applicazioni in diversi campi. Nel campo delle costruzioni, Yang et al. (2020) hanno utilizzato la NIRS combinata con la chemometria per determinare con precisione i principali componenti della polvere del cemento. Chen et al. (2018) hanno utilizzato la spettroscopia nel vicino infrarosso nel settore tessile per esplorarne il potenziale nel determinare il contenuto di cotone nei prodotti tessili. Lo strumento spettroscopico è ampiamente utilizzato anche in campo medico. In particolare, Deng et al. (2018) hanno adottato la NIRS per misurare i cambiamenti nella concentrazione di emoglobina nel cervello, valutando l'attività neurale e le risposte emodinamiche durante lo svolgimento di particolari attività, mentre nello studio di Guo et al. (2019), la NIRS consente il monitoraggio in tempo reale dell'ossigenazione dei tessuti muscolari.

Nel campo dell'agricoltura, la NIRS assume un ruolo fondamentale nell'identificazione delle varietà dei prodotti (Jakubíková et al., 2018), della loro qualità (Bodor et al., 2018) e della loro origine geografica (Li et al., 2018). Lopo et al. (2018) hanno indagato l'uso della spettroscopia nel vicino infrarosso (NIRS) come metodo per analizzare e caratterizzare i terreni dei vigneti in due diverse regioni vinicole del Portogallo; Vibhute et al. (2018) hanno utilizzato la NIRS per acquisire i dati spettrali del visibile e del vicino infrarosso (VNIR) e quindi analizzare e quantificare in modo non distruttivo gli attributi fisico-chimici del suolo (SPA).

Il presente studio mira a sviluppare un sistema basato sul NIR per valutare in tempo reale l'origine geografica dei chicchi di caffè verde, al fine di migliorare la tracciabilità e prevenire potenziali frodi nella filiera del caffè.

Il contributo è organizzato come segue. Nella Sezione 2 viene fornito il quadro metodologico adottato e lo schema del sistema sviluppato. Nella Sezione 3 vengono discussi i risultati, mentre nella Sezione 4 vengono presentati i possibili sviluppi futuri e le limitazioni relative a questo studio.

2. Metodologia

In questa sezione viene descritto il layout del sistema sviluppato. In particolare, in Figura 1 viene riportato il diagramma di flusso del processo di selezione dei chicchi verdi di caffè.

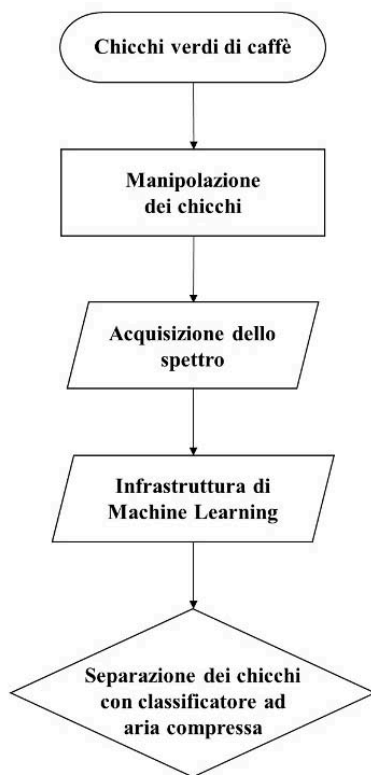


Figura 1 – Diagramma di flusso del processo di selezione dei chicchi di caffè

L'intero layout del sistema sviluppato è costituito da: (1) un sistema di manipolazione che consente lo spostamento dei chicchi verdi di caffè, dal contenitore iniziale fino alla stazione in cui viene effettuata la classificazione; (2) una stazione di acquisizione in cui una fotocamera spettrometrica NIR consente l'acquisizione di uno spettro per ciascun chicco verde di caffè; (3) un'infrastruttura di Machine Learning (MLI) volta a valutare ogni spettro acquisito al fine di riconoscere la corretta origine geografica del corrispondente chicco; (4) una stazione finale, in cui un getto d'aria compressa permette di separare fisicamente i chicchi verdi di caffè in contenitori differenti, a seconda della classificazione effettuata dal MLI.

In questo articolo vengono utilizzati due diversi campioni di chicchi verdi di caffè, ciascuno associato a specifiche origini geografiche denotate come "Origine X" e "Origine Y".

2.1 Sistema di manipolazione

Gli elementi principali che costituiscono il sistema di manipolazione sono (i) un contenitore convergente in alluminio, (ii) un alimentatore a vite e (iii) un nastro trasportatore.

Inizialmente, i chicchi verdi di caffè vengono inseriti nel contenitore convergente in alluminio per avviare il processo di monitoraggio. La sezione finale di questo contenitore, che corrisponde alla sezione di alimentazione, è stata adeguatamente dimensionata per consentire un flusso controllato di chicchi verdi di caffè. In Tabella 1 sono riportate le dimensioni medie dei chicchi verdi per le due varietà di caffè più diffuse (Hidayat et al., 2020).

Proprietà	Arabica	Robusta
Lunghezza (mm)	10,10	8,53
Larghezza (mm)	7,51	6,8
Spessore (mm)	4,27	3,79

Tabella 1 – Dimensioni medie dei chicchi di caffè per varietà arabica e robusta

Sulla base di questi valori, è stato configurato un diametro di 15 mm (Figura 1). Questa dimensione è stata rigorosamente determinata per permettere il passaggio di un chicco per volta, evitando d'altro canto ogni possibile interruzione del flusso.



Figura 2 – Dimensioni del contenitore convergente

Una volta usciti dal contenitore convergente in alluminio, i chicchi verdi di caffè vengono immessi in un alimentatore a vite, ampiamente utilizzato in campo industriale per permettere l'avanzamento controllato di materiale granulare. In questo alimentatore, una vite elicoidale afferra il materiale e lo spinge in avanti lungo il canale. La forma e l'angolazione della vite sono state opportunamente dimensionate per permettere l'avanzamento del materiale senza danneggiarlo. Il flusso del materiale in questa tipologia di alimentatori è fortemente influenzato dai suoi parametri geometrici e operativi come la velocità di rotazione, il suo angolo di elevazione e il passo (Minglani et al., 2021). In particolare, la velocità di rotazione permette di regolare la velocità di alimentazione del materiale, mentre l'angolo di elevazione e il passo della vite determinano la distanza tra due chicchi, garantendo una precisa distribuzione del materiale.

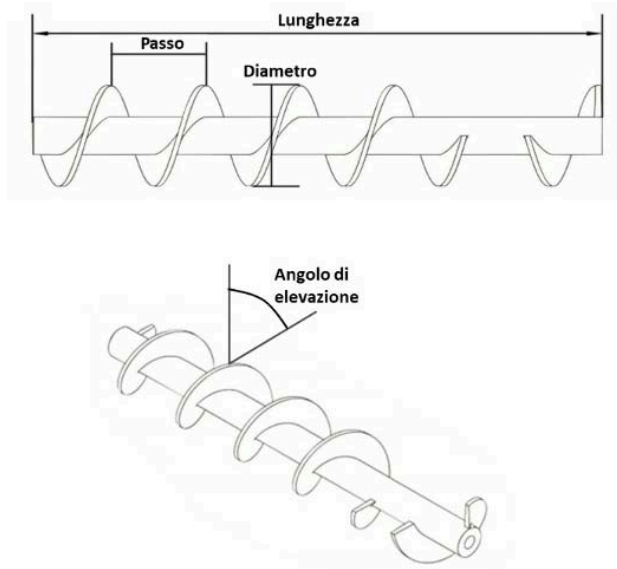


Figura 3 – Parametri geometrici e operativi dell'alimentatore a vite

All'estremità del canale, il materiale viene convogliato su un nastro trasportatore sul quale sono posizionate due guide laterali per evitare spostamenti indesiderati dei chicchi. Questo trasportatore consente al flusso di chicchi di raggiungere la stazione successiva dove viene effettuata l'acquisizione dello spettro.

2.2 Stazione di acquisizione dello spettro

La stazione di acquisizione è costituita da una camera a pareti scure nella quale è posizionata una fotocamera spettrometrica NIR. Per ottenere misurazioni accurate, le fotocamere spettrometriche NIR necessitano di particolari condizioni (Li et al., 2021). Nello specifico, è necessario garantire un ambiente privo di luce solare diretta e con un'illuminazione tenue e uniforme. Per garantire tali condizioni, la camera scura è stata dotata di quattro sorgenti luminose nei quattro angoli superiori. Poiché l'acquisizione dello spettro è sensibile anche alle condizioni igrometriche dell'ambiente, nella camera è stata garantita stabilità in termini di temperatura e umidità.

Per l'acquisizione dello spettro è stata utilizzata la ELSE-S Deep Cooling CCD Camera (Figura 4) con uno specifico modulo dedicato alla spettroscopia NIR.

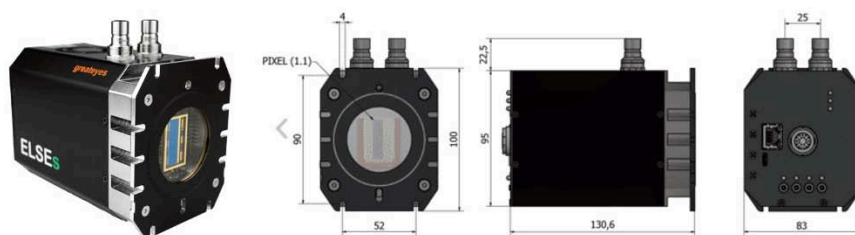


Figura 4 – ELSE-S Deep Cooling CCD Camera

Questa telecamera spettrometrica NIR permette l'acquisizione degli spettri in condizioni ambientali meno rigide (temperatura compresa tra 0°C e 35°C e umidità relativa inferiore all'80%). Altri parametri geometrici ed operativi sono riportati in Tabella 2.

Parametro	Valore
Frequenza di acquisizione dei pixel	50 kHz, 250kHz, 1 MHz, 3 MHz
Distanza flangia – piano focale	10.0 mm
Larghezza	83 mm
Altezza	100 mm
Lunghezza	130.6 mm
Peso	1.8 kg

Tabella 2 – Parametri geometrici e operativi

Per il controllo strumentale e per l'acquisizione degli spettri, è stato utilizzato il software Greateyes Vision.

2.3 Infrastruttura di Machine Learning

L'infrastruttura di Machine Learning rappresenta lo strumento che consente la vera e propria identificazione dell'origine geografica dei chicchi verdi di caffè. L'adozione di algoritmi di Machine Learning può essere uno strumento potente per ottenere un'identificazione accurata ed efficiente dell'origine geografica in tempo reale, migliorando la tracciabilità e garantendo l'autenticità e la qualità dei chicchi.

Basandosi sui dati a disposizione, gli algoritmi di Machine Learning vengono addestrati in modo iterativo. Durante la fase di training, ogni iterazione del processo inizia con i risultati degli step precedenti e continua fino al raggiungimento di un risultato soddisfacente o della convergenza. Molti studi hanno esplorato l'impiego di tecniche di Machine Learning nel riconoscimento della qualità e dell'origine dei prodotti alimentari per migliorare la tracciabilità ed evitare frodi (Mendez et al., 2019; Hu et al., 2022; Jiménez-Carvelo et al., 2022). Tra tutte le tecniche di ML, gli alberi decisionali, i support vector machine e le reti neurali convoluzionali forniscono i migliori risultati per i problemi di classificazione (Sun et al., 2021). Nonostante il grande potenziale offerto dall'implementazione degli algoritmi di Machine Learning, i risultati potrebbero non essere coerenti con le aspettative, soprattutto nei casi in cui il dataset di addestramento non è ben costruito.

Per questo caso di studio specifico volto al riconoscimento dell'origine geografica dei chicchi di caffè verde per garantire un livello più elevato di tracciabilità, viene utilizzato un albero decisionale (DT).

La fase di training è stata effettuata utilizzando spettri noti etichettati in due classi diverse di origine geografica, ovvero "Origine X" e "Origine Y". In particolare, per ciascuna classe, sono stati considerati venti (20) spettri differenti, calcolandone la media per creare uno spettro unico e rappresentativo.

Tuttavia, l'algoritmo implementato non si ferma alla fase di training. Durante la fase di testing, ogni nuovo spettro acquisito e classificato con l'etichetta appropriata migliora e aggiorna lo spettro rappresentativo di quella classe. Questo approccio di apprendimento iterativo garantisce la dinamicità e l'adattabilità dell'algoritmo, rendendolo più accurato nella classificazione dei dati nel tempo.

2.4 Classificatore ad aria compressa

Una volta effettuata l'acquisizione dello spettro nella camera a pareti scure, i chicchi verdi di caffè raggiungono la stazione finale tramite il nastro trasportatore. Durante questo tempo mascherato, l'infrastruttura di ML esegue la sua valutazione ed elabora la classificazione finale come descritto nella sottosezione precedente.

Nell'ultima stazione, la classificazione fisica e la separazione dei chicchi verdi di caffè avvengono attraverso un sistema ad aria compressa. Questo sistema è composto da due ugelli differenti: il primo, rinominato "ugello A", posizionato in corrispondenza di un contenitore per i chicchi verdi di caffè classificati come "Origine X"; il secondo, rinominato "ugello B", posizionato in corrispondenza di un altro contenitore, per i chicchi verdi di caffè classificati come "Origine Y".

Questo sistema ad aria compressa è strettamente collegato con l'infrastruttura di Machine Learning. Infatti, quando l'algoritmo dell'albero decisionale fornisce l'etichetta di classe prevista, un input elettrico attiva l'ugello corrispondente, consentendogli di effettuare la classificazione fisica del chicco. Se l'infrastruttura di Machine Learning non riesce a fornire un'etichetta di classe, gli ugelli non vengono attivati e il chicco corrispondente raggiunge un contenitore aggiuntivo etichettato come "origine non riconosciuta", posizionato alla fine del nastro trasportatore. Successivamente, questi chicchi di caffè non riconosciuti dall'infrastruttura di Machine Learning possono essere reintrodotti nel sistema, riprendendo l'intero processo e sfruttando il miglioramento iterativo dell'algoritmo per poter essere eventualmente identificati e classificati.

3 Risultati e discussioni

Lo sviluppo di questo layout sperimentale per l'identificazione dell'origine dei chicchi verdi di caffè, sfruttando le potenzialità combinate della spettrometria del vicino infrarosso (NIRS) e delle tecniche di Machine Learning, ha prodotto risultati significativi. Questi risultati hanno importanti implicazioni per l'industria del caffè e la sua catena di approvvigionamento, tra cui il miglioramento della tracciabilità, la prevenzione di eventuali tentativi di frode e la potenziale scalabilità industriale del layout. Inoltre, questo sistema di selezione automatizzata garantisce vantaggi economici, tempi di selezione ridotti rispetto alla selezione manuale e una maggiore precisione dovuta all'assenza di errori umani. Poiché l'industria del caffè enfatizza sempre più l'autenticità, la qualità e l'efficienza, questo sistema rappresenta una soluzione pionieristica per tutte le parti interessate, dai produttori e distributori fino ai consumatori.

3.1 Migliorata tracciabilità e prevenzione delle frodi

Il risultato più importante raggiunto grazie all'implementazione di questo sistema è rappresentato dalla sua capacità nel migliorare significativamente la tracciabilità dei chicchi verdi di caffè, garantendone una meticolosa certificazione di qualità. L'acquisizione degli spettri a infrarosso vicino consente una valutazione approfondita dei componenti chimici di ciascun chicco verde di caffè, con un approccio non invasivo. L'insieme di tutti gli spettri acquisiti costituisce il dataset di input dell'infrastruttura di Machine Learning, che esegue una valutazione oggettiva fornendo la classificazione di ciascun chicco di caffè. Attraverso l'implementazione del sistema sopra descritto qualsiasi tentativo di frode può essere immediatamente rilevato. In tal caso, i consumatori possono avere completa

fiducia nell'autenticità e nella qualità del caffè che acquistano e i produttori possono salvaguardare i propri prodotti da potenziali adulterazioni.

3.2 Riduzione del tempo di selezione

La drastica riduzione dei tempi necessari per classificare i chicchi verdi di caffè rappresenta un altro rilevante risultato. I tradizionali metodi di selezione manuale non solo richiedono maggiore manodopera, ma anche molto tempo, causando spesso ritardi nella produzione. Il sistema integrato sviluppato contribuisce fortemente all'automazione della filiera del caffè, portando a un processo decisionale più rapido ed efficiente per le attività di selezione della qualità e classificazione dell'origine. Questa accelerazione snellisce l'intera catena di produzione del caffè, garantendo un flusso continuo. Il sistema, infatti, operando in real-time e on-line, non solo accelera la produzione di caffè su larga scala ma soddisfa anche la richiesta di una selezione immediata e senza interruzioni.

3.3 Incremento dell'accuratezza e riduzione dell'errore umano

L'errore umano può avere un impatto significativo sul processo di selezione, determinando incoerenze e imprecisioni, in particolare quando si tiene conto della fatica o della soggettività (Tubis e Nowakowska, 2016). La dipendenza del sistema da dati oggettivi e algoritmi di apprendimento automatico garantisce un elevato grado di precisione. Analizzando i dati spettrali e confrontandoli con database di spettri noti, il sistema prende decisioni basate su prove empiriche, riducendo al minimo l'impatto dell'errore umano. Questa maggiore precisione è fondamentale per garantire la qualità e l'autenticità dei chicchi verdi di caffè.

3.4 Scalabilità industriale

Un altro importante risultato è rappresentato dalla scalabilità e adattabilità del sistema alle applicazioni industriali. Il suo potenziale di integrazione perfetta nei processi industriali esistenti e la sua idoneità alla produzione e distribuzione su larga scala del caffè lo rendono un particolarmente interessante per l'intera catena di approvvigionamento del caffè. Infatti, il sistema può essere efficacemente impiegato per migliorare il controllo qualità e la tracciabilità lungo l'intero ciclo produttivo, dagli impianti di tostatura agli stabilimenti di confezionamento fino ai centri di distribuzione.

3.5 Benefici economici

L'implementazione di questo sistema garantisce anche maggiori benefici economici. Accelerando il processo di classificazione dei chicchi verdi di caffè attraverso il riconoscimento automatizzato, è possibile ottenere no-

tevoli risparmi sui costi. La riduzione dei tempi di selezione rispetto ai metodi manuali si traduce in maggiore efficienza e riduzione del costo della manodopera. Inoltre, la capacità del sistema di ridurre al minimo il rischio di frode e adulterazione aumenta il valore economico del prodotto, proteggendo la reputazione del marchio e incrementando la fiducia dei consumatori. Poiché i consumatori danno sempre maggiore priorità alla trasparenza e all'autenticità nei loro acquisti, il sistema può rappresentare un vantaggio competitivo per i produttori di caffè, portando potenzialmente ad un aumento della quota di mercato e alla crescita dei ricavi.

4 Conclusioni

La prevalenza di pratiche fraudolente, come l'etichettatura errata dell'origine dei chicchi di caffè per meri fini speculativi, ha sollevato sfide sostanziali per il settore (Toci et al., 2016). L'innovativo layout sperimentale proposto nel presente studio, è stato sviluppato per affrontare le sfide e le preoccupazioni dell'industria del caffè, ovvero per migliorarne la tracciabilità e limitare le frodi, fornendo un quadro solido per autenticare l'origine dei chicchi di caffè verde con un elevato livello di precisione ed efficienza.

Esso è basato su un sistema integrato in grado di riconoscere e separare i chicchi verdi di caffè sfruttando le potenzialità offerte dalla spettrometria del vicino infrarosso (NIRS) e dagli algoritmi iterativi degli alberi decisionali. Attraverso l'estrazione di dati spettrali complessi e l'applicazione di tecniche di apprendimento automatico, il sistema garantisce che l'origine di ciascun chicco di caffè possa essere determinata con precisione. Qualsiasi tentativo di etichettare erroneamente l'origine geografica dei chicchi di caffè può essere facilmente rilevato e corretto in tempo reale.

I punti di forza del sistema sviluppato sono rappresentati dalla rapidità e dalle capacità di valutare e classificare ogni singolo chicco in tempo reale, fornendo all'industria del caffè i mezzi per sostenere uno standard più elevato di tracciabilità e autenticità. Implementando queste tecnologie all'avanguardia, tale layout sperimentale offre una soluzione innovativa industrializzabile che promette di elevare in modo significativo l'integrità e l'affidabilità della filiera del caffè.

Il limite principale dello studio è rappresentato dalla scarsa replicabilità e adattabilità del sistema a filiere con caratteristiche diverse, come i prodotti della filiera del freddo. Un'altra importante limitazione è legata ai costi di investimento iniziale dovuti all'infrastruttura di Machine Learning e al sistema di acquisizione.

I futuri sforzi di ricerca potrebbero essere mirati all'applicazione dello stesso sistema per l'identificazione dell'origine di altri prodotti ali-

mentari o bevande (come, ad esempio, l'olio d'oliva o il vino), o ad altri settori industriali. Inoltre, si potrebbe sviluppare un diverso algoritmo di Machine Learning per ridurre la percentuale di chicchi di caffè verde per i quali il sistema proposto non riconosce l'origine.

References

- BAQUETA, M.R., CAPORASO, N., COQUEIRO, A., & VALDERRAMA, P. (2020). A review of coffee quality assessment based on sensory evaluation and advanced analytical techniques. In *Innovations in Coffee Quality*, Kalschne D. et al. (Eds.). USA: Nova Science Publishers.
- BAREA-RAMOS, J.D., CASCOS, G., MESÍAS, M., LOZANO, J., & MARTÍN-VERTEDOR, D. (2022). Evaluation of the olfactory quality of roasted coffee beans using a digital nose. *Sensors*, 22(22), 8654.
- BODOR, Z., KONCZ, F.A., RASHED, M.S., KASZAB, T., GILLAY, Z., BENEDEK, C., & KOVACS, Z. (2018). Application of near infrared spectroscopy and classical analytical methods for the evaluation of Hungarian honey. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 14(s1), 11-23.
- CHEN, S.Y., CHIU, M.F., & ZOU, X.W. (2022). Real-time defect inspection of green coffee beans using NIR snapshot hyperspectral imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, 106970.
- DENG, Z., HUANG, Q., HUANG, J., ZHANG, W., QI, C., & XU, X. (2018). Association between central obesity and executive function as assessed by stroop task performance: A functional near-infrared spectroscopy study. *Journal of innovative optical health sciences*, 11(01), 1750010.
- DOS SANTOS SCHOLZ, M.B., KITZBERGER, C.S.G., DURAND, N., & RAKOCEVIC, M. (2018). From the field to coffee cup: Impact of planting design on chlorogenic acid isomers and other compounds in coffee beans and sensory attributes of coffee beverage. *European Food Research and Technology*, 244, 1793-1802.
- FU, X., & YING, Y. (2016). Food safety evaluation based on near infrared spectroscopy and imaging: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(11), 1913-1924.
- GARCIA, C.D.C., PEREIRA NETTO, A.D., DA SILVA, M.C., CATÃO, A.A., DE SOUZA, I.A., FARIAS, L.S., ... & DA SILVA JUNIOR, A.I. (2018). Relative importance and interaction of roasting variables in coffee roasting process. *Coffee Science*, 13(3), 379-388.
- GEORGE, S.E., RAMALAKSHMI, K., & MOHAN RAO, L.J. (2008). A perception on health benefits of coffee. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(5), 464-486.
- GIRAUDO, A., GRASSI, S., SAVORANI, F., GAVOCI, G., CASIRAGHI, E., & GEOBALDO, F. (2019). Determination of the geographical origin of green coffee beans using NIR spectroscopy and multivariate data analysis. *Food Control*, 99, 137-145.

- GUO, Y., WANG, Y., MARIN, T., EASLEY, K., PATEL, R.M., & JOSEPHSON, C.D. (2019). Statistical methods for characterizing transfusion-related changes in regional oxygenation using near-infrared spectroscopy (NIRS) in preterm infants. *Statistical methods in medical research*, 28(9), 2710-2723.
- HASEGAWA, T., & OZAKI, Y. (2017). Frontiers of Vibrational Spectroscopy in Analytical Chemistry. *Analytical Sciences*, 33, 1-123.
- HIDAYAT, D.D., INDRIATI, A., ANDRIANSYAH, C.E., RAHAYUNINGTYAS, A., & SUDARYANTO, A. (2020). Changes of some engineering properties of coffee beans due to roasting process. *Asian Journal of Applied Sciences*, 8(01), 12-21.
- HONG, T., YIN, J.Y., NIE, S.P., & XIE, M.Y. (2021). Applications of infrared spectroscopy in polysaccharide structural analysis: Progress, challenge and perspective. *Food chemistry: X*, 12, 100168.
- JAKUBÍKOVÁ, M., ŠÁDECKÁ, J., & KLEINOVÁ, A. (2018). On the use of the fluorescence, ultraviolet–visible and near infrared spectroscopy with chemometrics for the discrimination between plum brandies of different varietal origins. *Food chemistry*, 239, 889-897.
- JIMÉNEZ-CARVELO, A.M., CRUZ, C.M., CUADROS-RODRÍGUEZ, L., & KOIDIS, A. (2022). Machine learning techniques in food processing. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 333-351). The Netherlands: Elsevier.
- LE, Q.T., DANG, K.B., GIANG, T.L., TONG, T.H.A., NGUYEN, V.G., NGUYEN, T.D.L., & YASIR, M. (2022). Deep learning model development for detecting coffee tree changes based on Sentinel-2 imagery in Vietnam. *IEEE Access*, 10, 109097-109107.
- LEVATE MACEDO, L., DA SILVA ARAÚJO, C., COSTA VIMERCATI, W., GHERARDI HEIN, P.R., PIMENTA, C.J., & HENRIQUES SARAIVA, S. (2021). Evaluation of chemical properties of intact green coffee beans using near-infrared spectroscopy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(8), 3500-3507.
- LI, L., WANG, Y., JIN, S., LI, M., CHEN, Q., NING, J., & ZHANG, Z. (2021). Evaluation of black tea by using smartphone imaging coupled with micro-near-infrared spectrometer. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 246, 118991.
- LI, C., LI, L., WU, Y., LU, M., YANG, Y., & LI, L. (2018). Apple variety identification using near-infrared spectroscopy. *Journal of Spectroscopy*, 2018, 6935197.
- LOPO, M., TEIXEIRA DOS SANTOS, C.A., PÁSCOA, R.N.M.J., GRAÇA, A.R., & LOPES, J.A. (2018). Near infrared spectroscopy as a tool for intensive mapping of vineyards soil. *Precision Agriculture*, 19, 445-462.

- LYRIO, M.V.V., DA CUNHA, P.H.P., DEBONA, DG., AGNOLETTI, B.Z., ARAÚJO, B.Q., FRINHANI, R.Q., ... & DE CASTRO, E.V.R. (2023). SHS-GC-MS applied in *Coffea arabica* and *Coffea canephora* blend assessment. *Analytical Methods*, 15(29), 3499-3509.
- MINGLANI, D., SHARMA, A., PANDEY, H., DAYAL, R., & JOSHI, J.B. (2021). Analysis of flow behavior of size distributed spherical particles in screw feeder. *Powder Technology*, 382, 1-22.
- NEACSU, A.N. (2018). Quality management on the coffee market. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series V: Economic Sciences*, 109-118.
- NIU, C., GUO, H., WEI, J., SAJID, M., YUAN, Y., & YUE, T. (2018). Fourier transform near-infrared spectroscopy and chemometrics to predict *Zygosacchomyces rouxii* in apple and kiwi fruit juices. *Journal of food protection*, 81(8), 1379-1385.
- OZAKI, Y. (2021). Infrared spectroscopy—Mid-infrared, near-infrared, and far-infrared/terahertz spectroscopy. *Analytical Sciences*, 37(9), 1193-1212.
- OZAKI, Y., HUCK, C., TSUCHIKAWA, S., & ENGELSEN, S.B. (Eds.). (2021). *Near-infrared spectroscopy: theory, spectral analysis, instrumentation, and applications*. Singapore: Springer.
- PANCSIRA, J. (2022). International Coffee Trade: a literature review. *Journal of Agricultural Informatics*, 13(1).
- PRASETYO, E., LISTIYANINGSIH, D., SETIADI, A., MUKSON, M., ROESSALI, W., & EKOWATI, T. (2022). Factors determining income and product type of Robusta coffee farming in Central Java, Indonesia. *International Social Science Journal*, 72(245), 737-748.
- SAFE, S., KOTHARI, J., HAILEMARIAM, A., UPADHYAY, S., DAVIDSON, L.A., & CHAPKIN, R.S. (2023). Health Benefits of Coffee Consumption for Cancer and Other Diseases and Mechanisms of Action. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2706.
- SUN, Y., BROCKHAUSER, S., & HEGEDŰS, P. (2021). Comparing end-to-end machine learning methods for spectra classification. *Applied Sciences*, 11(23), 11520.
- TEYE, E., HUANG, X.Y., & AFOAKWA, N. (2013). Review on the potential use of near infrared spectroscopy (NIRS) for the measurement of chemical residues in food. *American Journal of Food Science and Technology*, 1(1), 1-8.
- TOCI, A.T., FARAH, A., PEZZA, H.R., & PEZZA, L. (2016). Coffee adulteration: More than two decades of research. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 46(2), 83-92.
- TUBIS, A., & NOWAKOWSKA, M. (2016). Human factor in technical systems and in supply chain. *Logistics and Transport*, 30(2), 37-46.

- VIBHUTE, A.D., KALE, K.V., MEHROTRA, S.C., DHUMAL, R.K., & NAGNE, A.D. (2018). Determination of soil physicochemical attributes in farming sites through visible, near-infrared diffuse reflectance spectroscopy and PLSR modeling. *Ecological Processes*, 7, 1-12.
- YANG, Z., XIAO, H., ZHANG, L., FENG, D., ZHANG, F., JIANG, M., ... & JIA, L. (2020). Fast determination of oxides content in cement raw meal using NIR spectroscopy combined with synergy interval partial least square and different preprocessing methods. *Measurement*, 149, 106990.

Biodistricts, model for local development: a bibliometric analysis

Mariagrazia Provenzano

University of Tuscia

Francesco Pacchera

University of Tuscia

Stefano Poponi

University of Tuscia

Alessandro Ruggieri

University of Tuscia

ABSTRACT

In Europe, Biodistricts represent a new framework for land development using organic agriculture. By Biodistrict, the International Network of Eco-Regions (IN.N.E. R) means «a territory naturally devoted to organic farming, where farmers, citizens, public authorities, realise an agreement aimed at the sustainable management of local resources, based on the principles of organic farming and agroecology» (Zanasi et al., 2020). Biodistricts are a testing ground for territorial economies, aimed at innovation for issues such as the circular economy, plastic reduction, the use of renewable sources and the promotion of participatory research (Poponi et al., 2021). Therefore, the aim of this article is to enrich the literature on the topic through a bibliometric analysis to understand the interconnections of research on Biodistricts (Donthu et al., 2021). The analysis took place in two stages: in the first stage, we selected articles through a review process, using the Scopus database. The search through the keywords “Eco Region”, “Bio District” and “Organic District” returned 725 articles; in the second phase, we discover a broad spectrum of subtopics related to the Biodistrict and their latest developments. Finally, through the bibliometric software VOS, we constructed a bibliometric map that more accurately reflects the connection. The results allowed us to understand the interest in the topic, suggesting possible managerial, policy and research implications.

KEYWORDS (MAX 6): Biodistrict; Ecoregion; Organic Farming; Sustainability; Local Development; Circular Economy.

1 Introduction

Biodistricts are established as a form of territorial organisation whose purpose is the promotion of an agricultural development model

based on the valorisation of local resources, the preservation of biodiversity and the production of healthy, quality food. Thus, they represent a local and integrated response to global agricultural challenges, such as climate change, biodiversity loss and intensive use of natural resources, contributing to more sustainable, resilient and inclusive food systems (Sturla, 2020).

Organic farming is the agricultural model on which the Biodistrict is developed and, through this, aims to redesign the agri-food system, making it more sustainable in environmental, social and economic terms.

In recent decades, the European Union has been encouraging the transition from conventional agriculture to organic farming. As a matter of fact, the European Commission's Farm to Fork strategy provides for the conversion of 25 per cent of the EU agricultural area to organic by 2030. Furthermore, Eurostat's survey on organic farming shows how, from 2012 to 2021, there has been a rapid expansion of organic areas in the EU, with four countries accounting for almost three fifths of the total organic area in 2021: France (17.4%), Spain (16.6%), Italy (13.7%) and Germany (10.1%) (UE, 2023). In addition, the European Commission Regulation 834/2007 defines organic production as «an overall system of farm management and food production that combines best environmental practices, a high level of biodiversity, the conservation of natural resources, the application of high animal welfare standards, and a production method in line with the preference of some consumers for products produced using natural substances and processes». Consequently, organic agriculture plays a key role in achieving sustainability goals: 'sustainable agriculture' is a broad but useful term for growing food using methods that benefit society, the environment and the economy (Gamage et al., 2023). Sustainable agriculture, therefore, offers solutions to contemporary problems arising from traditional agriculture: protecting the soil, which is considered a non-renewable resource; supporting public concerns, including reforming industrial practices, such as reducing the use of antibiotics, which are harmful to human and animal health; creating a food system that has greater dignity for farmers; reducing greenhouse gas emissions (Gamage et al., 2023).

However, organic farming is understood not only as a sustainable production method, but also as a territorial development strategy (Truant et al., 2019). Indeed, Stotten et al. (2018) define the values pursued by organic production, grouping them into four categories:

- Health principle. Organic farming must support and improve the health of the soil and living beings.
- Ecology principle. Organic agriculture must be based on, emulate and help sustain ecological systems and cycles.
- Equity principle. Organic agriculture must be based on relationships that ensure fairness to the community.

- Principle of care. Organic agriculture must be managed in a precautionary and responsible manner to protect the health and well-being of the environment and of present and future generations.

Stotten et al. (2018) extend the four principles of organic production to all stages of the agri-food sector and to stakeholders in other economic sectors, as the interconnection between sectors contributes to territorial development.

This concept is reinforced by the International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), which defines organic farming as a «holistic production management system that promotes and enhances the agroecosystem»¹.

Bottom-up actions described by Stotten et al. (2018), which means the involvement of different stakeholders and the adoption of sustainable practices through organic farming, are the founding elements of the Biodistrict. At the same time, Pugliese and Antonelli define it as «a hybrid system that possesses intermediate characteristics between the redevelopment of the territory and the valorisation of organic production' supported by the presence of a certified quality system and a strong link with the territory and with a high content of typicality» (Pugliese & Antonelli, 2013).

The spread of organic farming and the positive effects on the economic, social and environmental sector are leading to a reorganisation of land management and the definition of new forms of territorial organisation such as the Biodistrict (Viganò & Vaccaro, 2023).

The growth of these new district forms at the European level goes along with the expansion of organic farming. The association IN.N.E.R (International Network of Eco Regions) constantly monitors their emergence and evolution through a virtual map that marks and geolocalises European Biodistricts. Although the number is expanding, in 2022, there are 63 Biodistricts established and 11 Biodistricts in establishment in Europe, making a total of 74 Biodistricts. The country with the largest number of Biodistricts is Italy, followed by Portugal and Spain.

Biodistrict definitions differ from one country to another. In France, for example, the Val de Drôme 'Biovallée' represents an eco-territory where a global approach towards a local and sustainable economy is being developed in which new ways of living are adopted that preserve natural resources and guarantee access to essential services for all inhabitants. One of the goals of the Biovallée is to achieve 80 per cent organic or local food in public catering by 2025.

In Austria, the 'Bioregion' Mühlviertel is a network comprising di-

¹ <https://www.ifoam.bio/>

rect sales companies of organic agricultural products, gastronomy and hotels, schools, handicraft companies operating in an environmentally friendly way in order to ensure sustainable regional development.

The German 'Regionalwert' is a popular shareholding company that finances sustainable regional enterprises from agricultural production to processing, retailing and other services.

These definitions refer to organic farming as local development strategies, as do the terms 'Ecoregion' and 'Bioregion' (Omernik, 2004; Rossi et al., 2019). However, internationally, these terms are used to cover larger geographical areas and different topics of study.

The WWF associates the term Ecoregion with the meaning of 'distinct assemblage of species and natural communities', while with the term Bioregion it extends the concept of Ecoregion to a broader level (WWF, 2004).

Organic farming in Biodistricts is a key element, nevertheless the Biodistrict, as a hybrid system, recognises the values of ecology, health, care and equity and adopts them together with stakeholders from other economic sectors (Stotten et al., 2018). Indeed, organic farming is at the focus of the Biodistrict, but this is linked to various sectors, such as, for example, sustainable tourism. Biodistricts can become attractive tourist destinations for those who wish to learn about and experience sustainable agricultural and food practices. Rural tourism linked to Biodistricts can contribute to the development of the territory by promoting local culture and traditions (De Vincenzi, 2020). Examples are the creation of bio-beaches and the formation of eco-paths in the Cilento region to link food and tourism and the creation of a network of 'eco-hosts' in the Biovallée (Stotten et al., 2018). Ecotourism, in fact, contributes to the reduction of ecological impact, sustainable management of resources, and the promotion of ecological responsibility (Poponi et al., 2020).

Considering the different interpretations and meanings associated with the definition of Biodistrict, in the present study the one given by the IN.N.E.R. network is taken as a reference for subsequent analyses, which identifies it as: «a geographical area naturally suited to organic farming where farmers, citizens, tourism operators, associations and public administrations enter into an agreement for the sustainable management of resources, starting from the organic model of production and consumption»².

Several studies focus on agricultural diversification and collaboration between the agricultural sector and other sectors as a local development strategy (Poponi et al., 2021; Stotten et al., 2018; Poponi et al., 2023), while others focus on identifying territories potentially suitable to become Biodistricts (Assiri et al., 2021; Mazzocchi et al., 2021).

² <https://biodistretto.net/tag/inner/>

There is a gap in the literature regarding the research interconnections on the topic of Biodistricts and on the areas of interest covered. Therefore, starting from a bibliometric analysis of the literature, the aim of the paper is to measure the clusters and interactions that exist on the research produced with respect to the topic of Biodistricts and to construct a conceptual map reflecting the study topics related to Biodistricts. The article is structured as follows: the first part explains the methodology used for the analysis; the next section describes the results obtained. Some final remarks conclude the article.

2 Methodology

Bibliometric analysis provides a summary of the intellectual structure of a research field by analysing the time course of scientific publications, the most relevant authors, the most cited authors, the most important journals, the most used keywords, the most studied topics of the authors (Donthu et al., 2021).

The SCOPUS database was taken as a reference for the extraction of the bibliography. In view of the different interpretations associated with the term bio-district at an international level, the following query was used: TITLE-ABS-KEY (“eco region” OR “bio district” OR “organic district” OR “bio-district”). The search returned 725 articles, published between 1979 and June 2023, which were subsequently analysed using the VOSviewer software (Mokhtari et al., 2019; Van Eck & Waltman, 2010). The bibliometric analysis applied performance analysis, citation analysis, co-authorship analysis, bibliographic matching and co-occurrence analysis.

The performance analysis made it possible to analyse the authors’ contributions, develop an analysis of time, document type, countries and research areas of articles dealing with biodistricts.

Through the citation analysis, it is possible to check which authors have the most impact on the topic in the scientific community (Donthu et al., 2021).

Through the analysis of co-authorship, we examined the interactions between scholars in a research field, their affiliations and the equivalent impacts on research development. This type of analysis can show how collaboration between scholars contributes to improvements and advances in research (Donthu et al., 2021).

Bibliographic coupling of journals makes it possible to select publications that also share similar topics in content (Weinberg, 1974). For such research, the minimum publication value is defined as 2. In this case, thematic clusters are formed according to journal type.

Finally, co-occurrence analysis makes it possible to extract information on core topics and thus on the research branches active in a given scientific field. Furthermore, such an analysis offers the possibility to investigate the network of correlations between primary, secondary and emerging topics (Donthu et al., 2021).

For the current article, we performed the analysis in two steps: we first extracted the keywords derived from title and abstract (text data analysis, figure 5), subsequently, we took the keywords from the complete documents (co-occurrence keyword, figure 6) and analysed the contents. This made it possible to identify 5 groupings into which the intensity of occurrences can be distinguished, as well as the distance between occurrences (according to the number of co-occurrences)(Winkowska et al., 2019).

Co-occurrence analysis is a support to citation analysis and bibliographic coupling, as it enriches the general information derived from this type of analysis and thus allows the elaboration of the content of each thematic cluster (Donthu et al., 2021).

3 Results and Discussion

Donthu et al. identify two bibliometric analysis techniques: (1) performance analysis and (2) science mapping. The first characterises contributions on the research topic while the second focuses on the relationships between the parts.

3.1 Performance Analysis

The time-based analysis looked at the period from 1979 until June 2023. The results (table 1) show that more was written on the topic of biodistricts in 2021 (9%) and 2022 (8%), followed by 2016 and 2017 (7%), but with an increase from 2020 to 2021 of 45%. If taken in absolute terms, the numbers, although still small, confirm a research interest, which has the characteristic of not being localised but of gathering international interest (see table 3). There is also growth on the side of organic producers. In fact, the statistical office of the European Union certifies the expansion of organic areas, from 5.9 per cent in 2012 to 9.9 per cent in 2021³.

In addition, there are the effects of the pandemic crisis. Yin et al. (2021) show, for example, how COVID-19 perception and health awareness influence consumer behaviour towards organic agricultural products. Other studies, such as that of Middendorf et al. (2021), also analysed the perceptions and experiences of organic farmers during the pandemic. This

³ <https://ec.europa.eu/eurostat>

study highlighted the expected impacts of COVID-19 on agriculture, including production, access to inputs, labour and markets, emphasising the need to understand the impacts on the social welfare of smallholder farmers and the importance of resilience in farming systems.

Year	n	%
2023	23	3%
2022	55	8%
2021	64	9%
2020	44	6%
2019	44	6%
2018	38	5%
2017	54	7%
2016	48	7%
2015	39	5%
2014	40	6%
2013	45	6%
2012	37	5%
2011	18	2%
2010	30	4%
2009	37	5%
2008	17	2%
2007	22	3%
2006	13	2%
2005	12	2%
2004	8	1%
2003	5	1%
2002	8	1%
2001	2	0%
2000	2	0%
1999	6	1%
1998	2	0%
1997	3	0%
1994	1	0%
1993	1	0%
1992	2	0%
1991	3	0%
1982	1	0%

Table 1 – Temporal analysis of the sample

Looking in more detail at the papers and analysing the structure of the documents produced, it can be seen that 85% of the papers refer to scientific articles, 6% to conference proceedings, 5% are book chapters, while a residual percentage are reviews, books and other publications (table 2).

This trend is in line with what was stated by Dworkin et al. (2019)

who highlight the importance of scientific articles in offering a deeper approach in research and knowledge production, compared to book chapters which offer an involvement in the synthesis of existing knowledge, in the presentation of theories or concepts, offering an overview of a specific topic. Consequently, it is an important fact that 85 of the papers on Biodistricts are scientific articles as it underlines a high level of research and specialisation, with in-depth and detailed research results on the topic of Biodistricts.

Document Type	n	%
Article	617	85%
Conference Paper	46	6%
Book Chapter	37	5%
Review	14	2%
Book	8	1%
Data Paper	1	0%
Note	1	0%
Short Survey	1	0%
<i>totale 725</i>		100%

Table 2 – Document type of the sample

The European Action Plan for Organic Development considers Biodistricts an important form of aggregation and economic and social development of a territory (Organic Development Action Plan, European Union, 2021). This is confirmed by the territorial analysis (by continent) which highlights a further geospatial aspect. The analysis ranks Asia as the territory with the highest number of publications (46%), followed by Europe (38%), North America (25%) and South America (23%) (table 3).

Territory	n	%
Europe	275	38%
Asia	334	46%
Africa	84	12%
North America	180	25%
South America	169	23%
Australia	15	2%
Undefined	7	1%

Table 3 – Territory of the sample

The biodistrict, considered as a hybrid system that connects organic agriculture with other sectors, thus branches out into the social, environmental and economic dimensions. For this reason, the research areas range from agriculture to business and social sciences. In detail, the areas of greatest scientific interest are Biological and Agricultural Sciences (54%) and Environmental Sciences (47%), followed by Social Sciences (13%). A smaller percentage focuses on the Business, Management and Accounting areas (3%) (Figure 1). It seems, therefore, that the Biodistrict, despite being a driver of local development, is intended as an innovative tool for agriculture.

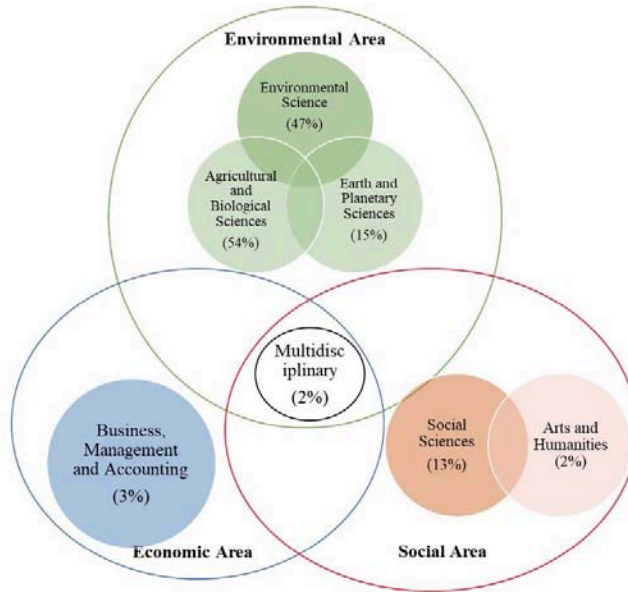


Figure 1 – Subject area of the sample

3.2 Science Mapping

Science mapping analysis is now considered a research methodology and application of bibliometrics useful for delineating the field of investigation, the most frequently studied topics and new lines of research. The maps show different dimensions of the research field, namely citation analysis, co-author analysis, bibliographic coupling and co-occurrence analysis.

The maps allow the representation of both content analysis and citation analysis related to the research topic. Defining citation as «an objective measure of what is variously called the productivity, significance, quality, usefulness, influence, effectiveness, or impact of scientists and their scientific»

(Ponzi & Koenig, 2002). Citation analysis considers authors who have at least one citation in common, returning a total of 603 results out of 725 papers, of which there are only 8 connections between them (Figure 2).

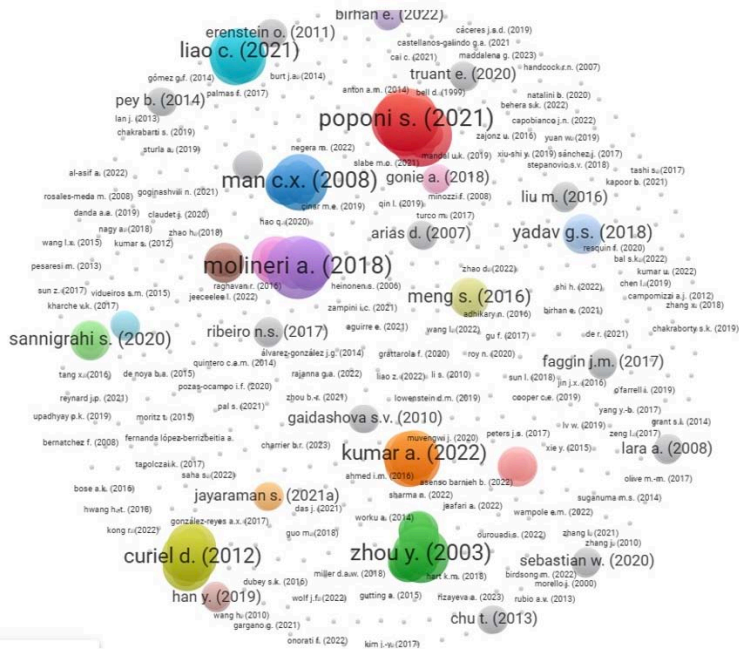


Figure 2 – Citation analysis
Source: Authors' elaboration on VOSviewer sw

The research topics of the 8 related authors concern beekeeping (Pacini et al., 2021) and soil conservation (Kumar & Kumar, 2022), but also of different topics such as circular economy (Poponi et al., 2021) and identification of Ecoregions (Zhou et al., 2003). Furthermore, the science mapping confirms the results of the performance analysis, (Table 3), as the most cited authors on the topic of biodistricts come from the continents Asia and Europe. This result is in line with the Bioreport 2021-2022, which shows that the organic area in Asia has increased by 5.8% in recent years, with organic consumption growth rates of 83.8% in 2021.

The analysis of co-authorship is performed considering a maximum of 25 authors and a minimum of 5 publications per author (Figure 3). The analysis groups and connects authors who have dealt with similar topics.

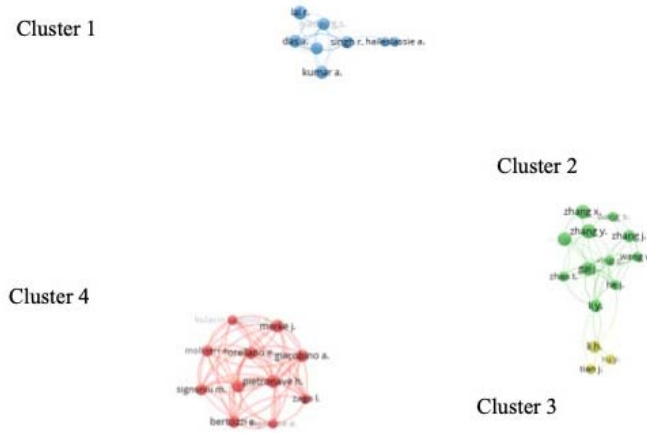


Figure 3 – Co-authorship analysis
 Source: authors' elaboration on VOSviewer sw

The analysis confirms the results obtained in the citation analysis (Fig. 1), where cluster 1 (blue) shows authors connected by themes such as soil conservation (J. Jin et al., 2010; J. X. Jin et al., 2016).

Cluster 2 (green) groups authors whose articles concern soybean cultivation (Ali et al., 2020; J. X. Jin et al., 2016; L. Liu et al., 2020; Y. Liu et al., 2022) and distribution of species, with particular reference to marine ecosystems (Y. Liu et al., 2022).

Cluster 3 (yellow) includes authors writing on the topic of environmental damage (J. X. Jin et al., 2016; L. Liu et al., 2020).

Cluster 4 (red), meanwhile, includes beekeeping authors (Pacini et al., 2021).

Bibliographic coupling groups journals according to topic. The key to analysis is to have at least 5 papers per source. The map is based on a bibliographic coupling analysis (the relationship between the entries is determined by the number of references they share) with the related journals most present in the reference literature (Figure 4).

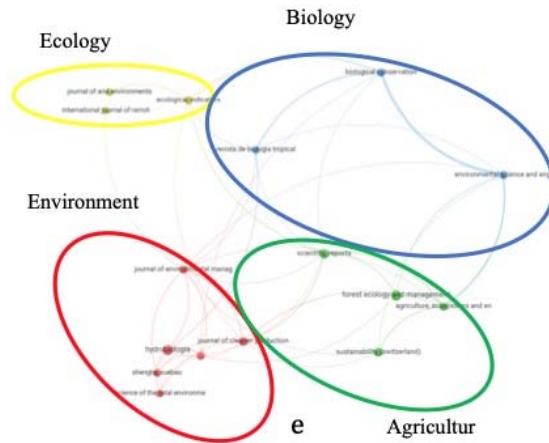


Figure 4 – Bibliographic coupling analysis
 Source: authors' elaboration on VOSviewer sw

The journals most frequently used by the authors to publish articles on biodistricts confirm the interest in the topics we have reported on in the analysis of the coauthors. In fact, Figure 4 shows that the blue grouping encloses journals dealing with biology, the green grouping encloses journals whose theme is agriculture, the yellow grouping encloses journals dealing with ecology and the red grouping encloses journals dealing with the environment in a general sense.

Co-occurrence analysis performed using text data and obtained from the title and abstract search, with a minimum binary count of 25 terms, showed 536 terms out of 23,291. A further suitability analysis was performed which selected 60% of the terms, thus reaching 322 terms. The map shows the links between the four groupings obtained (Figure 5).

The red grouping includes terms related to the social dimension of Biodistricts. In particular, the grouping contains the words “relation” and “person” that refer to the social skills needed to make the Biodistrict work, to which is added the qualitative approach of research and application through the words “case study”, “example”, “process”, “management”, “development”, “application”. The blue and green groupings refer, instead, to the environmental dimension of the Biodistrict. In particular, the blue refers to the problem that the Biodistrict attempts to combat, the macro-issue “climate change”, represented by “vegetation”, “temperature”, “increase” and “variation”. The green grouping, on the other hand, represents ‘biodiversity’ as an aspect to be protected. In fact, it includes ‘site’ (also expressed

species (Y. Liu et al., 2022) and land conservation and use (J. X. Jin et al., 2016). The focus on water shows the presence of a micro-cluster, but it is in a marginal situation, as are the analyses related to carbon sequestration or ecosystem services (Fennessy et al., 2018).

In general, the green and blue groupings include sustainability associated with the use of land and raw materials. The yellow and purple groupings encompass digital geographic data collection systems (Edwards et al., 1998). Indeed, Bonazzi et al. (2018) confirm the potential of organic districts, especially those dealing with energy issues, to achieve sustainability and higher environmental quality.

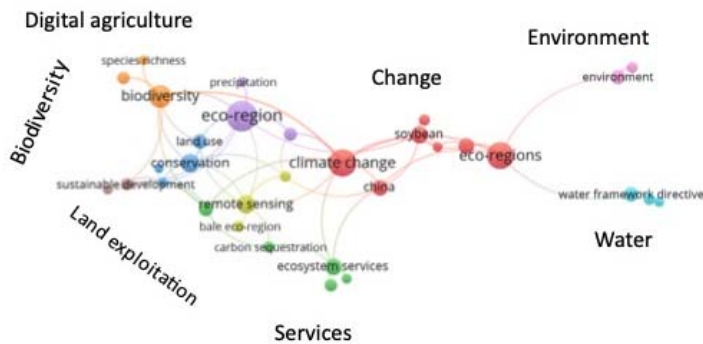


Figure 6 – Co-occurrence analysis on keywords
 Source: authors' elaboration on VOSviewer sw

5 Conclusions

Organic farming and its benefits for the economy, society and the environment are leading to a reorganisation of land management and the emergence of new forms of territorial organisation associated with organic farming, of which the Biodistrict is an example (Truant et al., 2019). Principles of organic farming (Stotten et al., 2018) enter within the biodistrict and are applied to the entire territorial context, involving economic, social and public stakeholders (Stotten et al., 2018).

The research presented in this article aimed to highlight the inter-relationships generated at the level of research on the topic of Biodistricts. The study made it possible to map networks of collaboration between authors and countries, showing links in the academic and scientific fields. Bibliometric analysis not only defined the time trend of scientific publica-

tions, but also made it possible to extract the most frequently used keywords (Donthu et al., 2021). The results show how this issue is declined in the environmental dimension, thus linked to the macro-themes 'climate change' and 'biodiversity', the problem of monocultures (in this case soy), the need for soil conservation (J. X. Jin et al., 2016), or to breeding techniques such as beekeeping (Pacini et al., 2021) and to environmental damage (L. Liu et al., 2020).

The results have research, policy and management implications. From a research point of view, there is a need to extend the studies to areas less investigated in the literature, such as economics and social issues as well as the use of one single database for the literature search process.

At the managerial level the study makes it possible to stimulate knowledge on this issue and suggests the importance of building a network of international relations.

At the Policy level through the study, it is possible to stimulate corporate culture, guiding the development of Biodistricts through policies and tools to encourage the adoption of organic farming and adherence to these new district forms.

References

A decade of organic growth Organic farming in the EU N°20 Agricultural Market Brief. (2023).

ALI, M.J., XING, G., HE, J., ZHAO, T., & GAI, J. (2020). Detecting the QTL-allele system controlling seed-flooding tolerance in a nested association mapping population of soybean. *Crop Journal*, 8(5), 781-792. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.06.008>

ARIZPE, N., RAMOS-MARTÍN, J., & GIAMPIETRO, M. (2014). An assessment of the metabolic profile implied by agricultural change in two rural communities in the North of Argentina. *Environment, Development and Sustainability*, 16(4), 903–924. <https://doi.org/10.1007/s10668-014-9532-y>

ASSAËL, K., & OREFICE, G. (2016). Bio-districts: building attractive territories. *Universitas Forum*, 5(1).

ASSIRI, M., BARONE, V., SILVESTRI, F., & TASSINARI, M. (2021). Planning sustainable development of local productive systems: A methodological approach for the analytical identification of Ecoregions. *Journal of Cleaner Production*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125006>

BIOLOGICO L'AGRICOLTURA BIOLOGICA PER LO SVILUPPO TERRITORIALE *L'esperienza dei distretti biologici Impresa.* (2018.).

BONAZZI, F.A., CIVIDINO, S.R.S., ZAMBON, I., MOSCONI, E.M., & POPONI, S. (2018). Building energy opportunity with a supply chain based on the local fuel-producing capacity. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/su10072140>

DA, O., & ROMA, P.DI. (2004). *ECOREGIONI E RETI ECOLOGICHE la pianificazione incontra la conservazione.*

DE VINCENZI, B. (2020). *Il design della comunicazione per il turismo sostenibile: una strategia comunicativa per la valorizzazione dei biodistretti italiani.*

DWORKIN, J.D., SHINOHARA, R.T., & BASSETT, D.S. (2019). The emergent integrated network structure of scientific research. *PloS One*, 14(4), e0216146.

FENNESSY, M.S., WARDROP, D.H., MOON, J.B., WILSON, S., & CRAFT, C. (2018). Soil carbon sequestration in freshwater wetlands varies across a gradient of ecological condition and by ecoregion. *Ecological Engineering*, 114, 129-136.

GAMAGE, A., GANGAHAGEDARA, R., GAMAGE, J., JAYASINGHE, N., KODIKARA, N., SURaweera, P., & MERAH, O. (2023). Role of organic farming for achieving sustainability in agriculture. *Farming System*, 1(1), 100005. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2023.100005>

- JIN, J., JIANG, H., ZHANG, X., & XU, X. (2010). Analysis of acid rain effects on vegetation in eco-regions in China based on AVHRR/NDVI. *Remote Sensing of the Environment: The 17th China Conference on Remote Sensing*, 8203, 82030Z. <https://doi.org/10.1117/12.910415>
- JIN, J.X., WANG, Y., JIANG, H., KONG, Y., LU, X.H., & ZHANG, X.Y. (2016). Improvement of ecological geographic regionalization based on remote sensing and canonical correspondence analysis: A case study in China. *Science China Earth Sciences*, 59(9), 1745-1753. <https://doi.org/10.1007/s11430-016-5297-5>
- KUMAR, A., & KUMAR, M. (2022). Estimation of Biomass and Soil Carbon Stock in the Hydroelectric Catchment of India and its Implementation to Climate Change. *Journal of Sustainable Forestry*, 41(7), 642-657. <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1794907>
- LIU, L., TAN, S., & WANG, Y. (2020). Can commodity prices forecast exchange rates? *Energy Economics*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104719>
- LIU, Y., LIU, S., YE, D., TANG, H., & WANG, F. (2022). Dynamic impact of negative public sentiment on agricultural product prices during COVID-19. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102790>
- MAZZOCCHI, C., ORSI, L., BERGAMELLI, C., & STURLA, A. (2021). Biodistricts and the territory: evidence from a regression approach. *Aestimum*, 79, 5–23. <https://doi.org/10.36253/aestim-12163>
- MIDDENDORF, B.J., FAYE, A., MIDDENDORF, G., STEWART, Z.P., JHA, P.K., & PRASAD, P.V.V. (2021). Smallholder farmer perceptions about the impact of COVID-19 on agriculture and livelihoods in Senegal. *Agricultural Systems*, 190, 103108.
- MOKHTARI, H., MIREZATI, S.Z., SABERI, M.K., FAZLI, F., & KHARABATI-NESHIN, M. (2019). *A bibliometric analysis and visualization of the scientific publications of universities: A study of hamadan university of medical sciences during 1992-2018*.
- OMERNIK, J.M. (2004). Perspectives on the nature and definition of ecological regions. *Environmental Management*, 34(Suppl 1), S27-S38.
- PACINI, A., MOLINERI, A., ANTÚNEZ, K., CAGNOLO, N.B., MERKE, J., ORELLANO, E., BERTOZZI, E., ZAGO, L., AIGNASSE, A., PIETRONAVE, H., RODRÍGUEZ, G., PALACIO, M.A., SIGNORINI, M., & GIACOBINO, A. (2021). Environmental conditions and beekeeping practices associated with *Nosema ceranae* presence in Argentina. *Apidologie*, 52(2), 400-417. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00831-9>
- PONZI, L., & KOENIG, M. (2002). Knowledge management: another management fad. *Information Research*, 8(1), 1-8.

- POPONI, S., PALLI, J., FERRARI, S., FILIBECK, G., FORTE, T.G.W., FRANCESCINI, C., RUGGIERI, A., & PIOVESAN, G. (2020). Toward the development of sustainable ecotourism in Italian national parks of the Apennines: Insights from hiking guides. *Ecology and Society*, 25(4), 1–13. <https://doi.org/10.5751/ES-11996-250446>
- PUGLIESE, P., & ANTONELLI, A. (2013). *Progetto Dimecobio Progetto per la definizione delle dimensioni economiche del settore dell'agricoltura biologica ai diversi livelli della filiera (Decreto Mipaaf N. 67510 Del 27/12/2013) L'agricoltura Biologica In Chiave Territoriale L'esperienza dei bio-distretti in Italia*. www.sinab.it
- ROSSI, M., BUTELLI, E., & LOMBARDINI, G. (2019). *Dai territori della resistenza alle comunità di patrimonio: percorsi di autorganizzazione e autogoverno per le aree fragili*.
- SLY, M.J.H. (2017). The Argentine portion of the soybean commodity chain. *Palgrave Communications*, 3(1). <https://doi.org/10.1057/palcomms.2017.95>
- STOTTEN, R., BUI, S., PUGLIESE, P., SCHERMER, M., & LAMINE, C. (2018). *Organic Values-Based Supply Chains as a Tool for Territorial Development: A Comparative Analysis of Three European Organic Regions*.
- TRUANT, E., BROCCARDO, L., & ZICARI, A. (2019). Organic companies' business models: emerging profiles in Italian bio-districts. *British Food Journal*, 121(9), 2067–2085. <https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2019-0158>
- VAN ECK, N., & WALTMAN, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538.
- VIGANÒ, L., & VACCARO, A. (2023). 7. L'agricoltura biologica nella PAC 2023–2027. *BIOREPORT2021-2022*, 97.
- WEINBERG, B.H. (1974). Bibliographic coupling: A review. *Information Storage and Retrieval*, 10(5–6), 189–196.
- WINKOWSKA, J., SZPILKO, D., & PEJIĆ, S. (2019). Smart city concept in the light of the literature review. In *Engineering Management in Production and Services* (Vol. 11, Issue 2, pp. 70–86). De Gruyter Open Ltd. <https://doi.org/10.2478/emj-2019-0012>
- YIN, J., CHEN, Y., & JI, Y. (2021). Effect of the event strength of the coronavirus disease (COVID-19) on potential online organic agricultural product consumption and rural health tourism opportunities. *Managerial and Decision Economics*, 42(5), 1156–1171.
- ZHOU, Y., NARUMALANI, S., WALTMAN, W.J., WALTMAN, S.W., & PALECKI, M.A. (2003). A GIS-based spatial pattern analysis model for ecoregion mapping and characterization. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(5), 445–462. <https://doi.org/10.1080/1365881031000086983>

Blockchain technology applied to food chains to avoid counterfeiting. The case of the Consortium Etna Doc

Agata Matarazzo
University of Catania
Arfò Sergio
University of Catania
Grzegorz Suwała
University of Economics
Carla Zarbà
University of Catania
Gaetano Chinnici
University of Catania

ABSTRACT

The main objective of this work is to show how blockchain technology is one of the main anti-counterfeiting methods and one of the main tools to guarantee and promote the originality of all food chains. To understand the sensitivity of wineries towards this important technological innovation, a case study was carried out on the Etna DOC consortium which takes care of the promotion of the Etna area and its wines. The Blockchain is considered one of the main technological innovations of agriculture 4.0 in the wine sector, as it guarantees greater safety, enhancement of the single product, transparency and traceability of the entire production chain. Specifically, the wine sector in Italy, and in particular in Sicily, is one of the most expanding sectors and with one of the highest levels of business; an example of this is the total production of wine in Sicily and in particular of DOC and IGT wines. The focus of this paper concerns the creation and administration of a questionnaire based on the sensitivity of producers regarding blockchain as a tool to guarantee originality and safety in terms of traceability of the supply chain, but also a guarantee of promotion and visibility of the single wine by the final consumer.

KEYWORDS: agriculture 4.0; wine sector; sustainability; blockchain; consortium; counterfeiting methods;

1 Introduction

Blockchain is a new technology, based on hashing, which is at the

foundation of the platforms for trading cryptocurrencies and executing smart contracts (Di Pierro, 2017).

In the contemporary scene there are many types of blockchain that vary between them as they offer different solutions to the common problem of decentralization of power. For example, a three-dimensional trilemma is offered where all blockchains can never excel in all but must make compromises between these.

The three dimensions considered are: the decentralization, the scalability and the safety (Di Pierro M. (2017)). The particularity of the blockchain technology is that it is based on some cryptographic elements; in detail, there are two main concepts of cryptography: hash functions and asymmetric cryptography. Cryptographic hash functions are used as a data integrity verification tool, instead asymmetric cryptography is an encryption technique that uses two different keys for encoding and decoding the message, thus overcoming the various single key methods.

The two keys are one public and one private; the first is disclosed to the public domain, while the second is kept in secret for the success of the algorithm. So, the basic concept is that only the public key can decrypt an encrypted message with the private one and vice versa.

The main technical features of blockchain technology are: decentralization of consent and registry, automation, transparency, cryptography and the immutability of the data; the latter because each block that is added to the chain contains a reference to the previous one and therefore changing a block would mean having to modify also all those successive ones, consequently it is not convenient. Therefore, the main strengths of this technology are the safety understood intended as resistance to system attacks and the guarantee offered on the goodness of the data (La Malfa, 2006).

In recent years, blockchain technology has established itself in the agri-food sector, especially in the wine sector where represents one of the main technological innovations of agriculture 4.0 on the traceability of the production, against fraud and Italian sounding. In fact, the combination of this technological tool with the tracing of agri-food products represents a Paretian optimal for the exchange and certification of products Made in Italy. From the Activity Report 2018, edited by the department of the Central Inspectorate of Quality, Protection and Fraud prevention of agri-food products of the Ministry of Agricultural Food, Forestry and Tourism Policies, emerges that in 2018 the agri-food sector has been confirmed as strategic for the Italian economy with over EUR 42 billion in exports and the agri-food controls are increasingly an active marketing factor able to enhance our products.

In this regard, on 1 May 2019 Decree-law No 34 came into force, which strengthens the protection of Italian products by the Italian Gov-

ernment, trying to combat fraud and problems related to the phenomenon of Italian sounding.

As regards the Covid-19 pandemic, the latter has put the sector of large-scale data exchange, surveillance and monitoring systems in serious crisis and in this regard many public institutions and private bodies have explored the interest in blockchain technology for the exchange, collection and certification of data relating to the health systems around the world.

Obviously, several scenarios have been identified in which it is possible to implement blockchain technology thanks to its versatility, however all this must be accompanied by a fruitful exchange of data between organizations but also between countries in order to facilitate the use of the technology itself.

One of the main uses of the blockchain technology regards the tracking of the supply chain of the vaccines themselves as well as test reagents. In particular as regards vaccines, the certification of the correct conditions of transport and storage can be an interesting perspective for the implementation of such technology, while in the case of test tracking it can be approached the place and date where was carried out and also map the areas most at risk of becoming an outbreak.

Nevertheless, the implementation of the same can play a key role as regards the fight against rampant disinformation, certifying the most truthful information by departing from unreliable sources, and also in the field of swab certification.

The main trials were carried out in California, where the adoption of a system based on verifiable health credentials has been attempted to demonstrate the negativity following Covid test, and in Switzerland where a similar solution was tested by launching a health application “Health n Go” within which a pilot was completed allowing employees of a local company to certify the results of their swabs and then demonstrate it when needed (Melia, 2018).

The focus of this final elaboration concerns the creation and administration of a questionnaire based on the sensitivity of producers in the field of blockchain and traceability of the production chain (Vinci, 2017).

The target of the questionnaire has been identified in the producers of the Consortium Etna DOC, in order to verify the knowledge of the technology itself and its effective utility with regard to the traceability of the production chain and the added value in terms of protection and promotion of the brands of the Etna DOC area (De Maldè, 2020).

2 Context analysis

In addition to moving goods and services, supply chains also transport information.

These often become the cause of unnecessary costs and misunderstandings, contributing to poorer company performance. Blockchain is a technological solution that is able to prevent this. Not only it can provide a much better level of cyber-security in the distribution of goods and increase efficiency, but it can also provide customers with all the information they need. According to the report “Blockchain in Agriculture Market: Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast, 2018-2026.” blockchain in the agriculture and food market will be worth \$430 million by the end of 2023. An example of the use of blockchain technology in food supply chains is the ‘Food trust’ platform.

After 18 months of testing, US technology giant IBM has launched its Food Trust food supply chain tracking ecosystem. One of its first users is Carrefour. The French retailer has begun testing the system in its own shops and plans to roll out blockchain technology to its entire global network.

This is a concrete initiative under the Act for Food program. IBM blockchain solution establishes a trusted and permissioned environment for food transactions, where all participants can collaborate in a secure and purposeful way (Kaszuba, 2018:2-4).



Fig 1 – Blockchain network actors in food chains

The diagram shown in Figure 2, illustrates the potential application of blockchain technology in the food supply chain.

It includes four components interconnected by a distributed network, which is what blockchain technology creates. First, the farm provides the data. These are stored in the cloud and then pass on to the processor, where also, as intended, the parameters for the product enter. The next link in the chain is the distributor, whose responsibility it would be to make information on the transport of goods available to the distributed data network (Malorgio, 2011).

The final link is the customer, who, thanks to modern technology, can purchase the product he or she needs by checking the parameters of the food and the exact route the good has taken before it reaches his or her hands.

Feedback about the data entered to the network is also important. This means that none of the recorded information can be concealed at any stage of the food supply. If, at any point, a failure in procedures or some other shortcoming is observed, the information can be immediately passed on to the rest of the chain, so that a batch of defective product can be immediately withdrawn from the market. (Szymczak J., Sadowski A., 2019).

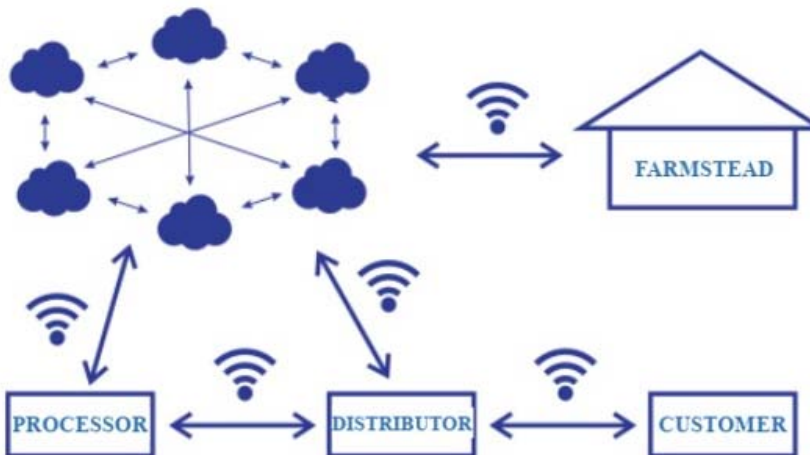


Fig 2 – Blockchain technology diagram in the food supply chain

The wine sector has always been one of the most attractive and profitable.

Wine being a luxury asset, has a continuously growing turnover,

but at the same time the increase of its business has also recorded a proliferation in counterfeiting of the same. In fact, worldwide wine fraud is now a widespread practice.

In Italy, the food fraud market is worth about EUR 83 million. It is estimated that counterfeiting steals EUR 6.1 billion per year to the wine and liquor sector in the European Union.

In particular, the “Euipo”, the Eu Intellectual Property Protection Office, in its last report (2019) estimated that the sector lost on average every year, between 2012 and 2016, EUR 2.4 billion in direct sales due to forgeries. This loss had a significant cost in terms of work with 38.885 jobs lost due to the fake industry and EUR 2.1 billion in unpaid taxes.

In addition, according to EU data in 2017, 10% of European consumers, about 43 million, was led by deception to buy a fake product with serious repercussions for the Italian wine sector. Counterfeiting occurs mostly in non-EU countries where, according to Euipo data, by 2022, one in two consumers could run the risk of buying a falsified product.

Specifically, the countries where the most counterfeit products are produced in the wine sector are: China, India, Thailand, Turkey, Malaysia and Pakistan. In the category of food fraud, we find sophistication, adulteration, alteration, and counterfeiting.

The main fraud in wine is the use of sugars other than those coming from grapes and vinous by-products, such as anomalous, ultra pressed wines, lees and additives for oenological use not permitted (Tirrò, 2020).

The adulteration of wine falls within the category of food fraud, in which we find all those illicit conducts aimed at an illicit gain lowering production costs and worsening the quality of the product sold (Pontalti, 2013). Food fraud can be of a commercial or health nature; the former consists of selling food of lower commercial value than the real one, while health frauds are characterized using microbial contaminants and exogenous chemicals potentially harmful to health. In particular, the sophistication of wine is mainly realized through the addition of methanol, also known as methyl alcohol or wood spirit; other less dangerous sophistications are: use of table grapes unsuitable for vinification for the production of wine then passed off as IGT, DOC or DOCG (Spadaro, 2020).

The use of methyl alcohol increases the alcohol content of wine; however, all this entails not only commercial damage but also nutritional hygiene damage to our health (Matarazzo, 2019:5-7).

As regards counterfeiting, it consists in selling industrial products with names or brands that deceive the consumer (Gulisano, 2012).

One of the main methods of counterfeiting is to market common sparkling wine for champagne (Colangelo, 2020:1-4). One of the main techniques of counterfeiting is the watering of wine. In particular, the analy-

sis of the isotopic ratios of water naturally present in the wine and comparison of the value obtained with the reference values in the European databases determines the illegal addition of spring water to wine.

Specifically, the addition of water causes a lowering in the reference isotopic ratio, this reduction is due to the fact that the vegetable water contained in the wine has a much higher isotopic value than the source and therefore can be identified the so-called watering of wine (Perini, 2018).

In 2020, Italy recorded many cases of counterfeiting related to the wine sector.

An episode of very particular counterfeiting involved a prestigious Tuscan DOC, in fact in October 2020 an organization that falsified Tuscan wines DOC Bolgheri Sassicaia was discovered.

Such fake wines were ready to go on the foreign market, but promptly blocked by the Guardia di Finanza of Florence.

This crooked game was based on a business of around 400.000 Euros per month, with a production of about 700 cases of wine per month for a total of 4200 bottles.

As we have seen blockchain technology has become a widely used tool in the wine sector and the growing demand of the market for guarantees of safety, transparency and traceability can be well satisfied with the adoption of blockchain technology both in national and international scene.

One of the largest international markets with the highest risk of counterfeiting in the wine sector is the Chinese market (Matarazzo, 2021).

In this paper, we have been able to see the rigidities and difficulties of entry into this market, where blockchain technology could be an effective tool in ensuring the safety and value of the product.

Within the Chinese market there are three macro markets, the mainland China and the Hong Kong to which we can add that of Macao; The mainland China market is a capitalist economy strict laws that can impose certain restrictions on business activity such as the obligation to have a local partner to undertake an activity of their own. The Chinese market in general is a constantly expanding market with high business potential.

However, we have already mentioned that it is one of those with the highest marketing rate of fake wines. In particular, the main frauds concern the marketing and bottling of wine with false indications relating to designations of guaranteed and typical geographical origin, using in the label brands, distinctive signs, graphic and typographic features that unduly imitate registered trademarks (www.italiaatavola.net).

All this after the coronavirus emergency, risks to give the final blow to the exports of Italian wine bottles to China where, after years of constant growth, markets are practically halved in 2020 with a 44% drop, witnessed

at the same time by the continuous growth of the business of the fake Made in Italy that in China and especially in the world is worth over 100 billion Euros.

Specifically, such illegal practices are so habitual in China that can be prepared by importers, distributors or sub-distributors whose objective is to reduce the purchase price of wine by fictitiously pumping the volume of trademarks and also avoiding customs duties and taxes. In addition, according to many experts it is still impossible to quantify the size of the fake wine trade in China. At this point, the possible use of blockchain technology may become essential to ensure safety as regards the traceability of the product and therefore the originality of the product itself to the importer and the final distributor.

3 The Consortium Etna Doc

The valorization, as well as the promotion, of the Etna area and its wines is carried out through the Consortium for the protection of Etna DOC wines. The appellation of controlled origin of the wines ETNA was born in 1968, first DOC in Sicily and among the first in Italy. In January 1994, the Consortium was founded with the aim of protecting production and the entire wine chain of Etna wines. With the ministerial decree of 18 February 2018, the consortium obtains the recognition “*erga omnes*”, in such a way as to be able to also carry out the functions of promotion of the same. Another main objective is to increase the visibility of the Etna DOC brand, as a symbol of made in Italy and at the same time to promote relations between producers and the market (www.consortioetnadoc.it). In 2019, the consortium also sought environmental sustainability and social welfare, achieving tangible objectives on people’s quality of life and on the environment. Etna DOC producers are in total 136 and the bottles produced by the entire consortium amount to 4.5 million. The controlled designation of origin “ETNA” is reserved for the following wines: Etna bianco, Etna bianco superiore (only for wines produced from grapes of the area of the municipality of Milo), Etna rosso, Etna rosso riserva, Etna rosato and Etna spumante. The province of Catania is the main wine-producing area of grapes suitable to produce Etna DOC wines. The main cultivations are in the municipalities of Biancavilla, S. Maria di Licodia, Paternò, Belpasso, Nicolosi, Pedara, Trecastagni, Viagrande, Aci S. Antonio, Acireale, S. Venerina, Giarre, Mascali, Zafferana, Milo, S. Alfio, Piedimonte, Linguaglossa, Castiglione and Randazzo. Some of the most important actions undertaken by the consortium concern the renewal of the Brand identity, the approval of important measures and amendments to the specification

and the strengthening of the presence on the main social media. In particular, the review of the website during this period has made it possible to enjoy further visibility from third parties and consumers (Agozzino et al., 2011). In addition, a new logo was created for the consortium, which was adopted from March 2020. This logo graphically reproduces the distinctive features of the name, in fact, there is an inverted C that recalls the production area of the DOC, which also visually represents the position of the four sides extending to the slopes of the volcano, while the three lines in the center of the logo recall the E of Etna and symbolize the different altitudes in which the vineyards are located (www.winerytastingsicily.com).



Figure 3 – The Logo of The Etna Doc Consortium Logo

The variety of Etna's soils is evident because of a volcano (Etna) that was born about 600.000 years ago from submarine eruptions and over the centuries has reached a height of 3220 meters above sea level due to an overlap of lava flows, ash and lapilli that rise from the center of the earth; such dimensions make the Etna volcano the most imposing terrestrial volcano in Europe and in the entire Mediterranean area. Mount Etna is located on the east coast of Sicily and is one of the most active volcanoes in the world; it is also one of the most studied and monitored volcanoes in the world and it is of global scientific and cultural importance for volcanology and geophysics (Arfò, 2023). In general, the climate of the area is classified as temperate Mediterranean, with an annual pluviometric regime that presents the maximum in the autumn period and the minimum in the summer. So, we can define the Etna area for its characteristics, such as the pedoclimatic characteristics that differentiate it from the rest of the region, like "an island in the island" (Disciplinare di produzione). The landscape then presents itself as predominantly lava, but thanks to the action of man such landscape was transformed into one of the most agricultural of the island. In fact, the art of cultivating and working the vine has ancient origins and

customs in this territory, evidenced by “Storia dei vini d’Italia” published in 1596 where wines produced on the hills surrounding Catania were already mentioned and whose goodness was attributed to the ashes of Etna.

Etna wines with a controlled designation of origin must be obtained from the grapes produced by vineyards having a specific ampelographic composition shown in the following table.

WINES	AMPELOGRAPHIC COMPOSITION
Etna Bianco	– Carricante at least 60% – Common or glossy white Catarratto from 0 to 40%
Etna Bianco Superiore	– Carricante at least 80%
Etna Rosso	– Nerello Mascalese at least 80% – Nerello Cappuccio from 0 to 20%
Etna Sparkling	– Nerello Mascalese at least 60-80%

Table 1 – The Ampelographic Composition of Etna Wines Cycle

The conditions, governing the cultivation of vineyards intended for the production of wines with “Etna” controlled designation of origin, must be the traditional ones of the area in order to give the wine its specific characteristics. Then the planting plan, breeding forms and pruning systems must be those generally used and therefore any practice of forcing that can change the characteristics of the grapes is forbidden. The minimum natural alcoholic strength of the grapes must be as follows: Etna bianco 11,00% vol, Etna bianco superiore 11,50% vol, Etna rosso 12,00% vol, Etna rosso riserva 12,50% vol, Etna rosato 12,00% vol, Etna spumante 10,00% vol.

As regards vinification, sparkling wine making, compulsory ageing, bottling and bottle ageing, they must be carried out within the production area defined in Article 3; however, such operations may also be carried out throughout the territory of the municipalities. The maximum allowed yield of the grapes in wine for all types must not exceed 70%, in fact more than 75% are not entitled to a registered designation of origin. In particular, with regard to Etna DOC sparkling wines we see how in 2020 there was a growth of over 30% compared to the previous year, with more than 160 thousand bottles produced and for this purpose the consortium itself has approved the increase from 60% to 80% of the use of Nerello Mascalese

for the sparkling wine process, in order to tie even more this type of wine to one of the most famous and produced vines of the territory (Frigerio, 2020). With regard to labeling and presentation, the designation of origin of Etna wines may be followed by additional geographical indications referring to administrative units or districts, while it is forbidden to add the adjectives “fine”, “chosen”, “selected” and “similar”⁵⁷. Moreover, for all wines with a controlled designation of origin Etna is compulsory to indicate the year of production of the grapes (Agozzino, 2011).

4 Results And Discussions

The questionnaire covers an initial part concerning the indication of the name of the company, the number of employees, the role in the supply chain and the main product certifications it possesses; it then consists of 9 questions organized as follows:

Do you know or have you ever heard of blockchain technology?

1. Are you aware that blockchain technology allows you to track information/events and ensure the veracity/visibility of data relating to the production chain of a given good or service?
2. Do you believe that making information about the supply chain of a product public can provide added value to your business?
3. Do you believe that within your business there are quality products that can be sold at higher prices?
4. Do you consider that there is a problem with the competition of counterfeit products or with the improper use of Italian/Sicilian/Etna sounding?
5. Do you believe that someone may have the advantage of a purchase that will certainly protect him from counterfeiting?
6. Would you be interested in more information about blockchain technology and/or to take part in a training course?
7. Do you use the services of certification bodies to track information and ensure the quality of your products?
8. Do you use a software to manage the traceability of the various steps of your production chain?

The companies of the consortium Etna DOC that have answered positively to questionnaire are: Conte Tasca D’Almerita, Torremora, Azienda Agricola Irena Badalà, Santa Maria La Nave, Caruso Wine, Russo Winery, Cantine Valenti, Serafica Terra di Olio e di Vino, Distilleria Givoli srl, Benanti Viticoltori, Azienda Agricola Biondi and Graci.

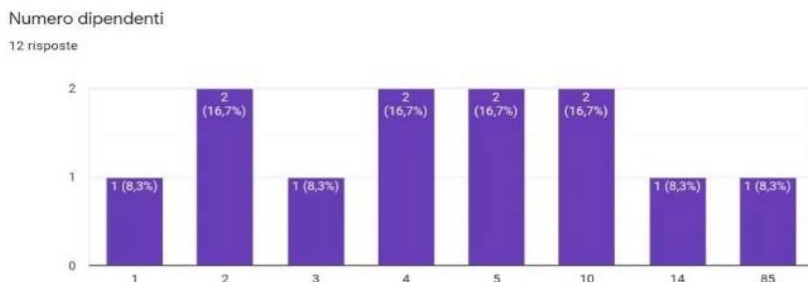


Fig 4 – Graphic Representation of The Number of Employees

As shown in figure 2, the company with the largest number of employees is Conte Tasca D’Almerita with 85 employees, then we find Cantina Benanti with 14, Cantine Valenti, Graci with 10, Santa Maria La Nave and Serafica with 5, Torremora and Russo with 4, Caruso with 3 and finally Distilleria Giovi and Biondi with 2 and Irena Badalà with 1. So, all the companies considered are small and medium-sized companies and are largely the target of this questionnaire. Through this questionnaire emerged the main product certifications that the companies own, finding that are all certified as Etna Doc. The company that has the most product and process certifications is Torremora, respectively with the organic one and ISO 9000, BRC and IFS. The certification of organic wine is also owned by Cantine Valenti, Graci, Cantina Benanti and Santa Maria La Nave, while Tasca D’Almerita has the Viva e Sostain certification and Serafica the UNI EN ISO 22005:2008. However, all the companies of the consortium are all certified Etna DOC, which leads to greater recognition within the territory itself and if compared to other companies or consortiums, because they have a brand that is already synonymous of guarantee and originality not only nationally but also internationally. Recall that the consortium takes care of all producers of Etna, of those who act within the scope of the DOC, of certified production and that therefore vinify and bottle; not all producers however are present, but only those who adhere and also not all producers perform all the way from the harvest of grapes to bottling, in fact for this reason there are about 370 grape producers while the bottlers are 136.

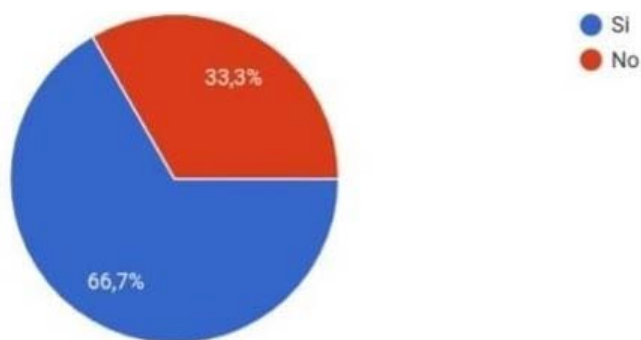


Figure 1 – Graphic Of Answers to Questions 1 And 2

With regard to the knowledge of blockchain technology, results show that already 4 companies out of 12 have never heard of such technology and therefore completely disregard the benefits associated with the implementation of this technology as regards the tracing of information and events and ensuring the visibility of the data relating to the production chain of a given asset. This lack of information regarding blockchain technology, which in any case is one of the main technological innovations in the wine sector, can derive from the small size of these companies and a possible vision limited to the only artisanal production within the borders of its territory (Colangelo, 2020:8-9).

The remaining companies are positively informed about blockchain technology.

All companies believe that making public information about the supply chain of a product can provide added value to their business, because the accuracy with which all phases of a chain are analyzed and shared, make the process even more transparent. This technology also involves the final customer with a consistent and easily traceable amount of information because it amplifies the perception that the customer has of the company by making known their production philosophies. Thus, it increases the final customer range according and at least because it allows the definition of individual steps that allow the final authenticity of the product also influencing the economic value and knowing the movements downstream of production according to Serafica and Torremora. Within the business of each company there are quality products that can be sold at higher prices; the latter is a very strong signal from all companies because there is the intention and the desire to expand their business and even in this case blockchain technology could be a more than effective solution in achieving these objectives, that if shared by the entire consortium can strengthen even

more the brand itself and the producers at both regional and national level, thus strengthening the brand identity of even the smallest companies.

12 risposte

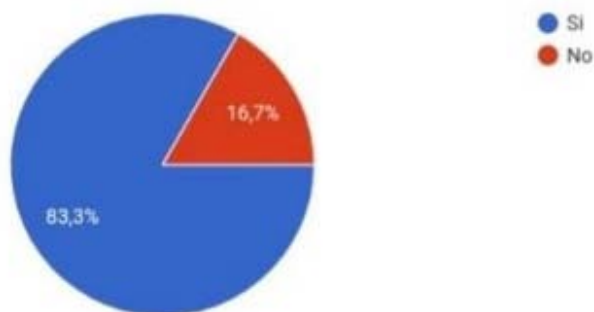


Figure 2 – Graphical Representation of the Answers to Question 5

Most companies believe that there is a problem of competition from counterfeit products and the improper use of Italian/Sicilian/Etna sounding. The Italian sounding consists in the production and distribution of food which, with names, colors, images and symbols affixed on the packages, recall the Italianness of the products. This phenomenon of evocative imitation is very rooted abroad and covers many products of national agri-food excellence such as wines. As far as counterfeiting is concerned, it is not counterfeiting in the strict sense, but rather the labeling of elements, which arbitrarily recall the value and quality of the products of the Italian wine supply chain. Of course, these products are distributed mainly on non-European markets as the Chinese one that represents the one with the highest risk of food counterfeiting.

The agency ICE (Agency for the promotion abroad and the internationalization of Italian companies) in recent years has undertaken a programming based on two types of interventions relating to these problems.

The first intervention concerns the preparation of strategic promotion campaigns in the most relevant markets and of contrast to the phenomenon of Italian sounding through an information activity that highlights the qualitative and nutritional characteristics of the national product in such a way as to justify a higher price than imitations.

The second concerns support for the penetration of Italian products in the various markets through appropriate agreements with the distribution networks, in this context the main results have been achieved in North America, United Kingdom and Japan (Lambiase, 2017).

12 risposte

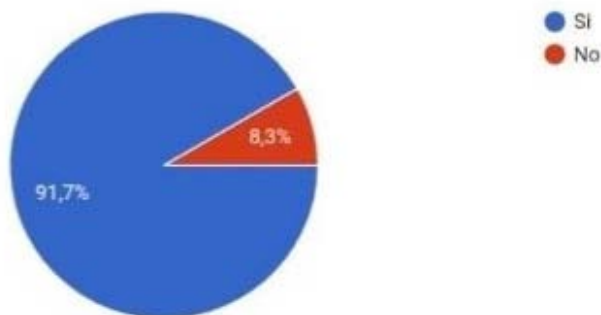


Figure 3 – Graphical Representation Of The Answers To Question 6

All companies believe that someone may have the advantage from a purchase that will certainly protect him from counterfeiting.

From the results achieved so far, we note that blockchain technology has a fair knowledge and a remarkable attractiveness by the companies of the consortium Etna DOC.

Such curiosity even from those companies that do not know such technology, could lead to an approach to the same blockchain, organizing fairs and events in which could promote the multiple benefits of its implementation.

However, we notice from the answers to the question No. 8 as most companies uses services of certification bodies to track information and ensure the quality of their products. Here, therefore we find some competition as regards the tracing of information relating to a specific product. While regarding the use of software for the management of the traceability of the various steps of the production chain, most companies do not use any kind of software for this purpose. So, this is where blockchain technology could represent a positive turning point with its implementation, in order to guarantee safety and originality to the production chain of companies in the area Etna DOC. The same company of blockchain could take advantage of this lack for a mass implementation, in particular by exploiting the low costs associated with it and huge benefits listed several times.

5 Conclusions

Certifying wine nowadays should be a common practice which must not be limited to product certifications, but also to process certifica-

tions. Indeed, above all, through certification is possible to enhance the value of the company and the entire production chain.

In fact, in the wine sector the lack of certifications can lead to a failure to promote and protect both the individual product and the entire company especially because nowadays certifications represent a fundamental hub to stay constantly updated, to keep up with the main competitors and to have a greater visibility from the customers. However, counterfeiting methods are now widespread and aim at the most important wines such as DOC wines.

It is therefore desirable to provide greater protection for wine through the creation of appropriate consortia or cooperatives able to introduce a new technology capable of tracing the path of wine from vineyards to the market outlet in a clearer and more effective way. All this in a logic of advantage and innovation for the companies themselves.

The main advantages deriving from the implementation of blockchain technology are the guarantee of originality and safety in terms of traceability of the supply chain, but also the guarantee of promotion and visibility of the individual wine by the final consumer.

In general, the prospects for adoption and development of this technology are enormous, manifold and more than positive, not only in the wine sector but also in the agri-food sector, being able to easily associate all its massive benefits to more products from different productions chains.

Specifically, blockchain technology, being a versatile tool, catch a considerable interest from many companies of the consortium Etna DOC, documented by the administration of the questionnaire.

Such attractiveness could therefore lead to a massive implementation by the same companies of the consortium in order to promote and ensure the certainty of the brand associated with them and in particular the Made in Sicily in the world.

In addition to the undoubtedly many opportunities and possibilities associated with the use of Block Chain Technology (BCT), there are also problems and barriers that may limit the wider use of this technology in the agri-food sector.

These problems arise both from the limitations of BCT technology itself and from the poor preparedness of the socio-institutional environment and agri-food businesses to implement and apply new digital technologies in practice. The key challenges therefore include (Kosior K., 2018):

- challenges of a technological and technical-organisational nature;
- challenges of an economic and financial nature;
- barriers at the level of behaviour and decisions of actors involved in the food supply chain; and involved in the food supply chain;
- barriers related to the mismatch between legal and regulatory

frameworks for the application of new technologies in extended food supply chains.

Blockchain is a relatively new technology that has not yet reached full maturity, especially in the agri-food sector.

The problem lies not only in the previously signaled risks associated with imperfect mechanisms for confirming the identity of blockchain participants, but also in the scalability of BCT.

Projects and tests to date have involved relatively uncomplicated food supply chains.

The ability of BCT to operate in more complex chains involving multi-component products has not yet been tested. Currently, BCT is capable of processing seven transactions per second, while VISA can handle up to 47 thousand transactions. In addition, to constraints and barriers of an economic and financial nature, the emergence of barriers of a behavioural nature on the part of individual participants in the food supply chain is to be expected.

The problem may be, above all first and foremost the lack of adequate digital competence, especially among less educated agricultural producers. (Kosior, 2018)

Acknowledgements

“The study was funded under the National Recovery and Resilience Plan (NRRP), Mission 4 Component 2 Investment 1.3–Call for proposals No. 341 of 15 March 2022 of Italian Ministry of University and Research funded by the European Union–NextGenerationEU, Award Number: Project code PE00000003, Concession Decree No. 1550 of 11 October 2022 adopted by the Italian Ministry of University and Research, CUP E63C22002060006, Project title “ON Foods–Research and innovation network on food and nutrition Sustainability, Safety and Security–Working ON Foods”.

References

- AGOZZINO, P. AVELLONE, G. FILIZZOLA, F. MONTE, L.G. CATANZARO, P. BARBERA, D. (2011). Determination of terpenes alcohols. Sicilian muscat wines.
- ARFÒ, S. MARINO, F. MATARAZZO, A. ITALIANO, F. CARUSO, C. ARFÒ, A. (2023). Technical and Economic Feasibility Analysis of the Pilot Project in Marsili, Sicily. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 9(4), 861-867.
- COLANGELO, G. COLUCCI, R. (2020). Diritto vitivinicolo: Sostituzione del vino e frode alimentare. *Studio Legale Associato*.
- DE MALDÈ, M. (2020). Il ruolo della tecnologia blockchain per combattere la pandemia da COVID-19. *Blockchain4Innovation*.
- DECRETO DI RIPRISTINO DELLA PROPOSTA DELLA DOC DEI VINI "SICILIA" ANNESSA AL DECRETO MINISTERIALE N.54182 DEL 13/07/2017, pubblicata sito internet Ministero- Sezione Prodotti DOP e IGP- Vini DOP e IGP.
- DI PIERRO, M. (2017). What is the Blockchain?. *Computing in Science & Engineering*. 92-95.
- DISCIPLINARE DI PRODUZIONE DEI VINI A DENOMINAZIONE DI ORIGINE CONTROLLATA "ETNA", D.M. 07.03.2014. Mipaaf Sezione Qualità e Sicurezza- Vini DOP e IGP.
- FRIGERIO, A. (2020). Vini Etna Doc: produzione di spumante a +30% nel 2020. Le novità del Consorzio, *Alimentando Il Quotidiano Del Settore Alimentare*.
- GULISANO, G. DE LUCA, A.I. (2012). I consumi domestici di vino in Italia: un modello a regressione quantile sulla domanda di vino siciliano. *Atti del XLIX Convegno Sidea. Sistemi Agroalimentari ed Economie nel Bacino del Mediterraneo: Istituzioni e Politiche*, Reggio Calabria.
- KASZUBA, K. (2018). Carrefour wdraża system IBM Food Trust. Rusza rewolucja blockchain w globalnym łańcuchu dostaw żywności. *Wiadomości handlowe, Wydawnictwo Gospodarcze*. Warszawa.
- KOSIOR, K. (2018). Potencjał technologii blockchain w zapewnianiu bezpieczeństwa i jakości żywności. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*. 4(117), 18-32.
- LA MALFA, C. (2006). La vitivinicoltura nell'area Etna, Ricerche nell'ambito delle attività istituzionali dell'Osservatorio sul Sistema dell'Economia Agroalimentare della Sicilia (OSEAAS). *Atti del Consorzio Regionale per la Ricerca Applicata e la Sperimentazione*. Catania.
- LAMBIASE, F. LENZINI, C. AVITABILE, G. FRANCESCHIN, A. CEA, F. (2017). Lotta alla contraffazione e tutela del made in Italy, 5.

- LEGGE 10 FEBBRAIO 1992, n.164: Nuova Disciplina delle denominazioni d'origine dei vini, pubblicata in G.U. del 26 febbraio 1992, n.47.
- MALORGIO, G. POMARICI, E. SARDONE, R. SCARDERA, A. TOSCO, D. (2011). La catena del valore nella filiera vitivinicola. *Agriregionieuropa*. 12.
- MATARAZZO, A. COPANI, F. LEANZA, M. CARPITANO, A. LO GENCO, A. NICOSIA, G. (2019). To the industrial symbiosis of wineries: an analysis of the wine production *chain according to the LCA model*, In: *Marina Dusevic*. New Frontiers on Life Cycle Assessment - Theory and Application. London: Dr. Antonella Petrillo.
- MATARAZZO, A. SPAMPINATO, E.C. ARFÒ, S. SINIGAGLIA, U. BAJELI, A. BENANTI, S. (2021). Blockchain Technology Applied to the Consortium Etna DOC to Avoid Counterfeiting. *Advances In Global Services And Retail Management*.
- MELIA, V. CAPRARO, F. SPARACIO, A. (2018). La viticoltura delle isole minori della Sicilia. Istituto Regionale della vite e del vino.
- PERINI, M. (2018). Un metodo innovativo per identificare l'annacquamento del vino, *L'enologo* dal 1983 la voce della categoria. 1/2, 1-7.
- PONTALTI, M. ARAGRANDE, M. (2013). Certificazione, rintracciabilità e vini regionali. *Procedia of Conference "Malvasia of the Mediterranean"*.
- SPADARO, G. NICOTRA, A. IURATO, S. MATARAZZO, A. MANNINO, M. (2020). Environmental management strategies in smart Sicilian food and technology chains. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 2, 185-193.
- SZYMCZAK, J. SADOWSKI, A. (2019). Technologia blockchain jako stymulanta zachowania bezpieczeństwa żywności w łańcuchu dostaw. *Zagadnienia doradztwa rolniczego*, 49-63.
- TIRRÒ, S. (2020). Le frodi alimentari: concetti di adulterazione, sofisticazione, alterazione, contraffazione, pericolosità, nocività e genuinità. Comando Carabinieri per la Tutela della Salute.
- VINCI, L. (2017). Il vino Marsala: la prima DOC italiana, *Lorenzo Vinci-Italian Gourmet*, 1.

www.consorzioetnadoc.com.
www.italiaatavola.net

Antioxidant value and functional properties of a traditional senegalese food flour

Chiara Vita
Università di Firenze
Gabriele Feligioni
Università di Firenze
Leonardo Borsacchi
Università di Firenze
Patrizia Pinelli
Università di Firenze

ABSTRACT

This paper focuses on a local Senegalese food flour preparation, obtained by mixing cereals, legumes and a medicinal plant, traditionally prepared by women in rural areas to create a highly nutritious dish. It is primarily intended for elderly, malnourished, or sick individuals. In the local Wolof language, the flour is called “sunguf ferneet.” Its composition includes millet (*Panicum miliaceum* L.), maize (*Zea mays* L.), peanuts (*Arachis hypogaea*), cowpeas (*Vigna unguiculata* L.), moringa (*Moringa oleifera* L. or drumstick tree), salt, and sugar. Cowpeas (niebè) are rich in phenols, tannins and condensed tannins, with recognized antioxidant properties. The moringa plant, originally from eastern India, is widespread and cultivated throughout the tropical belt of the planet, finding a wide use as a food, food supplement, and cosmetic products. Since the late 1990s, the World Health Organization (WHO) has been promoting moringa as a dietary supplement to combat the problem of malnutrition. All parts of the plant are edible and rich in nutrients (leaves, roots, seeds, bark, buds, flowers and fruits) and are used in traditional medicine or in foods and supplements (even in Italy). The antioxidant and antiradical properties of this traditional flour (IC₅₀ values) are evaluated with in vitro spectrophotometric tests. Future perspectives of this study will be the potential creation of a more structured supply chain of sunguf fernet for enhancing food security and local development.

KEYWORDS: Traditional food; Antioxidants; Food security; Local Development; Millet; Moringa;

1 Introduction

In Senegal, despite the improvement observed in the Human Development Index in recent years, problems of extreme poverty and malnutrition persist, especially in rural areas.

Senegal imports 55 percent of its wheat from Russia and Ukraine, so the conflict has put the country's food security at serious risk. The promotion of local products and their proper processing is therefore crucial, not only to buffer a major food emergency, but also to create the conditions in the country for profitable economic development. Food independence is an opportunity not only for poor areas but for the entire country; here, on the border with Guinea Bissau, it is in the schools and villages that action is taken to educate people about a healthy diet made from local products. This will improve the quality of the food (which will be more abundant and diversified) but also raise awareness and inform the population about the consumption of local products. The benefit of consuming local products is not only economic but also nutritional.

This study took place within the three-year long project “*Social business e sviluppo innovativo della filiera agro-industriale nella regione di Thiès (SB-AGROIN) – AID 011894*” implemented by *ASeS Agricoltori Solidarietà e Sviluppo* and funded by the Italian Agency for Development Cooperation. The project aims at increasing food security and the income of small farmers in the region of Thiès, Senegal, by improving their production techniques and by developing the agro-industrial chain, mainly the sale and diffusion of innovative production factors and the transformation of plant food and its marketing. As a project partner, ARCO was responsible for providing support to a social enterprise for the processing of fruits, vegetables, and cereals managed by the network of 12 women producers and processors of the Municipality of Ker Moussa with its production centre established by the project. ARCO supported this women social enterprise network in drafting production guidelines to ensure that processed products meet hygienic and quality standards.

The present paper focuses on a local Senegalese food flour preparation, obtained as a mixture of different flours from cereals, legumes and locally used medicinal plant species, as the following: millet (*Panicum miliaceum* L.), maize (*Zea mays* L.), peanuts (*Arachis hypogaea*), cowpeas (*Vigna unguiculata* L.), moringa (*Moringa oleifera* L. or drumstick tree), salt, and sugar.

This traditional Senegalese food flour preparation, in the local Wolof language “*sunguf ferneet*”, is usually prepared by women in rural areas to create a highly nutritious dish, primarily intended for elderly, malnourished, or sick individuals. The enriched food flour is evaluated in order to assess its antioxidant potential and antiradical properties in comparison with organic flours samples of millet and maize, taken from the Italian large scale retail trade. The Authors decided to compare the antioxidant properties of the enriched flour with these two single cereal flours, because millet and maize, are respectively the first and the second component in quantity of the traditional “*sunguf ferneet*”. Although within the limits of not being

able to evaluate, for the moment, the antioxidant activities of all the ingredients of the enriched flour, these preliminary results will allow us to estimate the potential of this functional food, also by comparison with a single ingredient, such as millet, already explored by the scientific literature.

2 Methodology

2.1 Sample Extraction

The analyses were performed on Senegalese enriched flour and two organic flours (millet and corn, respectively), taken from the Italian large scale retail trade.

A quantity of 1 gram of each sample was dissolved in 20 mL of a hydroalcoholic solution consisting of EtOH (ethanol) 70% and acidic water at pH 3.2 by formic acid (30%). After 1 night extraction at room temperature, in the dark, the extracts were centrifuged at 5000 rpm for 5 min in a centrifuge at temperature control (18°C) to separate the hydroalcoholic supernatant from the residue. Samples were prepared in triplicate.

2.2 Folin-Ciocalteu assay

Total polyphenols were determined as follows: the hydroalcoholic flour extract (125 µL) was mixed with 500 µL of water and 125 µL of Folin-Ciocalteu reagent (FC) and allowed to stand for 6 min; 1250 µL of a solution of sodium carbonate (7%) was added to the mixture. After 85 min, the absorbance of centrifuged samples was measured at 725 nm against FC hydroalcoholic solution as a blank, by using a Lambda 25 UV/Vis spectrophotometer (Perkin-Elmer Instruments). The amount of total phenolics is expressed as Gallic Acid Equivalents (GAE, mg gallic acid per 100 g of sample, on dry weight basis), through the calibration curve of gallic acid. The calibration curve range was 10 – 120 µg/mL (R^2 0.995).

2.3 Antiradical capacity evaluated by DPPH test

The antiradical capacity of the extracts was estimated according to a previously reported procedure (Heimler, 2005: 3053–3056), with slight modifications. More specifically, the extracts were opportunely diluted and an amount equal to 1:1 was added to an ethanol solution of DPPH (0.04 mg/mL). Measurements were carried out at 517 nm with a Lambda 25 spectrophotometer (Perkin-Elmer) at time 0, after 15 sec, 30 sec, 45 sec, 1 min, 90 sec, 2 min and then every 2 min for the following 20 min. The antiradical activity (AR%) was calculated through the following relationship:

$$[AR\% = 100 (A_0 - A_{20})/A_0]$$

where A_0 and A_{20} were the absorbance of DPPH, at time 0 and 20 min., respectively, after adding the diluted extracts; the IC₅₀ is the concentration of the flour extract (mg of flour per mL), required to scavenge 50% of DPPH.

The IC₅₀ of the extracts was determined by using the five-point linearized curves [AR%-ln (concentration in polyphenols)], built determining AR% for five different dilutions of each extract and, then, by calculating the concentration in polyphenols (in ppm) of the solution that inhibits the DPPH activity to 50%.

The antiradical efficiency (AE) was calculated following a previous work with slight modifications (Mansouri et al., 2005: 411–420), using the formula $1/IC_{50} \times 100$.

3 Results and Discussion

In the evaluation of the antioxidant properties of the enriched flour object of this investigation, it is worth to remember some functional and antioxidant properties reported for its individual and main ingredients. Millet, a whole grain food cultivated worldwide, with a high level of vitamins, proteins and dietary fibres, is the main component of the Senegalese enriched flour under investigation. For this gluten free grain, particularly rich on polyphenols, positive effects on the adjuvant treatment of diabetes, cancer, and cardiovascular diseases are reported (Tongshuai, 2022: 156–165). According to a previous study carried out in Nigeria on a local variety of millet, this cultivation should be encouraged by local farmers, due to its effective antioxidant and anti-radical properties evaluated through spectrophotometric tests (Ajiboye et al., 2017: 6684–6687). Millet is also reported to be a major drought-resistant grain, a particularly beneficial resilience in a world affected by climate-change issues. Its bioactive compounds, belonging not only to the class of phenols but also to xylo-oligosaccharides, insoluble fibers, peptides, and lipophilic antioxidants, can be affected by food processing, as reported in a recent review. In particular, germination and fermentation could enhance the antioxidant properties, due to increased antioxidants content (Shan Liang and Kehong Liang, 2019: 1652–1661).

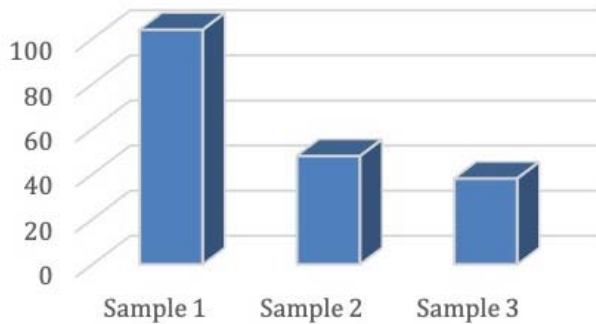
Corn is also present, as a second grain in quantity in “*sungufernet*”, the Senegalese enriched flour. As previously described, these whole cereals contain, in addition to dietary fibre, many health-promoting components such as vitamins, minerals and phytochemicals. In the enriched flour, cereals are associated with legumes: peanuts and cowpeas. In peanuts, an antioxidant contribution of proteins and polysaccharides, besides its

polyphenolics and vitamins was recently reported, in a comprehensive review that also take into consideration proximal composition, bioaccessibility, antioxidant activity and immune properties of allergenic proteins and peptides obtained during digestion (Prodic et al., 2023: 886-915).

Cowpeas (niebè) are rich in phenols as caffeic acid derivatives (Zia-Ul-Haq et al., 2013: 2005-2017) and flavonoids (Djifaby Sombié, 2018: 143-152; Nassouroua et al., 2016: 391-397) with important antioxidant properties. Thanks to its composition in biomolecules, cowpea is considered a promising plant species for a possible role as a food ingredient in supplements and functional foods.

Finally, moringa, or drumstick tree, is a plant cultivated in South and South-East Asia, as well as areas of North and South America, Africa, and Middle-East for different purposes in traditional medicine and cuisine, finding a wide use as a food, food supplement, and also cosmetic products. Since the late 1990s, the World Health Organization (WHO) has been promoting moringa as a dietary supplement to combat the problem of malnutrition. All parts of the plant are edible and rich in nutrients (leaves, roots, seeds, bark, buds, flowers and fruits) and are used in traditional medicine or in foods and supplements (even in Italy). Moringa leaves are used as antioxidant source in Indonesia (Fitriana et al., 2016: 297-301), and the plant extracts show good biological properties, including antioxidant, antimicrobial, and anticancer activities, all of which mainly due to the presence of numerous phenolic and flavonoid compounds (Prabakarana et al., 2018: 23-29). The highest phenolic content was observed in methanolic bark, leaf and pods with, specifically, a content ranging from 32 to 44 mg GAE/g, with leaf extract having the higher content of flavonoids and the relatively highest antioxidant activity (Rabiu Abdulkadir et al., 2015:1423-1428).

In our study the hydroalcoholic extracts of flours were evaluated by spectrophotometric methods for the quantitative assessment of the total phenol antioxidants and their antiradical properties, in comparison to the antioxidant activity of single ingredients. In particular, triplicate samples of Senegalese enriched flour were evaluated in comparison with organic flours made with a single grain (millet and corn, respectively) taken from two Italian supermarkets. The average total polyphenol content assessed by the Folin-Ciocalteu test was 104 mg GAE/100g of DW for Senegalese enriched flour (Sample 1); 48 mg GAE/100g of DW for organic millet flour (Sample 2) and 38 mg GAE/100g DW for organic corn flour (Sample 3). Hence, the investigated Sample 1 showed a quite higher antioxidant potential with respect the other two samples and this is in accordance to its composite nature and in particular to the presence of high antioxidant ingredients, such as moringa and cowpeas. Folin-Ciocalteu results are shown in Figure 1.



**Figure 1 – Contents of total phenolic antioxidants of the flour extracts.
Data are expressed as mg of GAE in 100 g of dry sample**

Concerning the DPPH test a preliminary assay was made, measuring the kinetics of the three flour extracts diluted 1:4, with the exception of sample 3 that was measured without dilution (Figure 2).

As it can be observed in Figure 2 for corn flour extract without dilution, despite the total phenolic content, not so far from that measured for millet flour extract, the kinetics of scavenging of the DPPH radical was extremely poor (4.6%) in comparison with the antiradical effect of the other two samples with a 1:4 dilution (57% enriched flour extract, and 37% millet flour extract). For this reason, the antiradical power of Sample 3, expressed as IC₅₀, was not calculated.

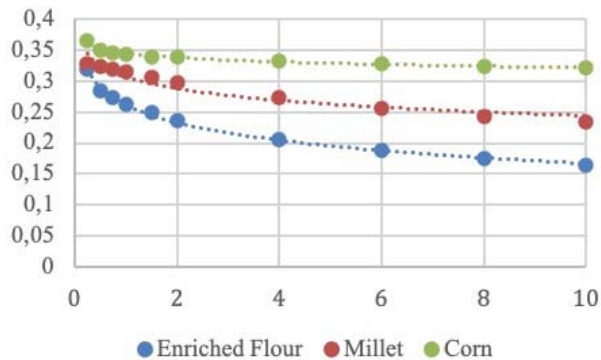


Figure 2 – DPPH radical scavenging kinetics (first 10 minutes) of flour samples: Sample 1 (Senegalese enriched flour) and Sample 2 (millet flour) with a 1:4 dilution, and Sample 3 (corn flour) without dilution

As an example, Figure 3 shows the logarithmic curve of the radical inhibition in function of the hydroalcoholic extract concentration for Sample 1 (as mg of flour per mL) with a R^2 of 0.9717. A quantity of 13.5 mg/mL of flour inhibits the radical solution (0.04 mg/mL). The antioxidant efficiency through the IC50 parameter is independent of the sample concentration, and for having a better evaluation of the interesting functional properties of flour extracts, the data of IC50 are reported as the quantity in mg of flour that inhibits 1 mg of radical.

Hence, the IC50 of the hydroalcoholic extracts average value for Samples 1 was 337 mg, much greater than the average value of Sample 2 (744 mg). These data, corresponding to the quantity of flour that inhibits the 50% of the radical molecule (DPPH), confirm the higher antiradical activity of the Sample 1 with a higher concentration and diversified composition of phenolic antioxidants.

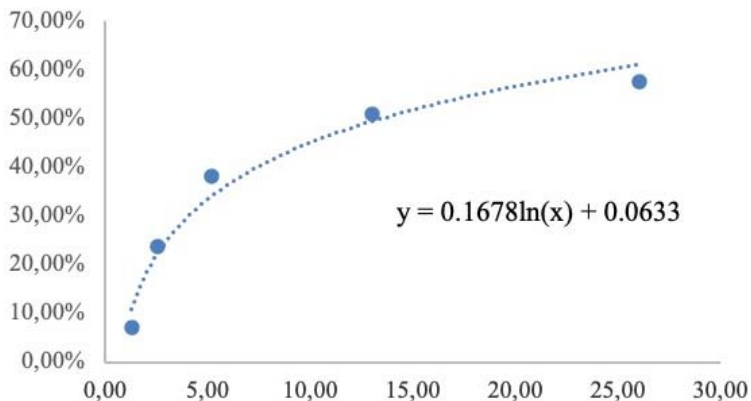


Figure 3 – Logarithmic curve describing the relation between concentrations of the hydroalcoholic flour extract (Sample 1) and the percentage of inhibition of DPPH radical

The antiradical efficiency of the enriched flour ($AE = 0.29$) is more than double of that of the millet flour ($AE = 0.13$), confirming a direct relationship of antioxidant activity with the total polyphenol content (104 and 48 mg GAE/100g DW, respectively). However, the measured phenolic content of the enriched flour is comparable with data reported in literature for multigrain breads (Angioloni and Collar, 2011: 90-96), therefore, the process of grinding and mixing the different vegetal components will probably have to be implemented, given the great antioxidant potential of some plant species, in particular moringa and cowpeas.

Moreover, for the valorisation of the functional properties of this enriched flour, further studies are necessary to evaluate whether in this kind of food flour there is an antioxidant additive contribution of the individual plant species, or whether synergies develop between different classes of biomolecules with anti-radical and antioxidant capacities.

4 Conclusions

Regarding the aim of this project, for the increasing food security in Senegal and the development of new local business, particularly hold by small farmers and women, the results of this work emphasize the possible role of local products, such as an enriched flour. This food uses traditional ingredients, mixing plant species for which strong nutritional and antioxidant properties have long been recognized. From this perspective, the food could also be defined as innovative, especially for a possible consumption even in the European market. The sample is particularly promising and can be just one example of an innovative and particularly nutritious food created by exploiting the blending of different local species (grains, legumes and medicinal plants) whose antioxidant nutritional properties can play the dual role of food safety and prevention of diseases related to oxidative stress. Even if this kind of production is locally limited, the adoption by producers of standardized methods and a step-by-step implementation of these procedures, could really improve their quality, in a way to be ready to face potential European markets and opportunities in the future.

Concerning the analytical research, this paper shows that the composite recipe of Senegalese enriched flour has a good potential of natural antioxidant compounds, that according to literature belong to different polyphenolic classes. The biological activity, evaluated by in vitro test with spectrophotometric assays, seems to be higher with respect other flours taken from the most important supermarket chains of organic products in Italy. As future perspective, a rigorous characterization of the enriched flour with the assessment of its antioxidant properties can be strongly useful in the nutritional valorisation of this product, not only for being a high value potential protein and carbohydrate source, but also as an ingredient in food supplements and in functional food.

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to “*ASeS Agricoltori Solidarietà e Sviluppo*” and the Senegal representative, Giovanna Cantice, for their kind collaboration.

References

- ANGIOLONI, A., COLLAR, C. (2011) Polyphenol composition and “in vitro” antiradical activity of single and multigrain breads, *Journal of Cereal Science*, 53, 90-96.
- DJIFABY SOMBIÉ, P.A.E., COMPAORÉ, M., COULIBALY, A.Y., OUÉDRAOGO, J.T., DE LA SALLE TIGNÉGRÉ, J.B., KIENDRÉBÉOGO, M. (2018) Antioxidant and Phytochemical Studies of 31 Cowpeas (*Vigna unguiculata* (L. Walp.) Genotypes from Burkina Faso, *Foods*, 7, 143-152.
- FITRIANA, W.D., ERSAM, T., SHIMIZU, K., FATMAWATI, S. (2016) Antioxidant Activity of *Moringa oleifera* Extracts, *Indones. J. Chem.*, 16, 297-301.
- HEIMLER, D., VIGNOLINI, P., DINI, M.G., ROMANI A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans. *J Agric Food Chem* 53, 3053-3056.
- MANSOURI, A., EMBAREK, G., KOKKALOU, E., KEFALAS, P. (2005). Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*) *Food Chemistry* 89, 411-420.
- NASSOUROUA, M.A., NJINTANGA, Y.N., NOUBISSIÉA, T.J.B., NGUIMBOU, R.M., MARTIN, J. (2016) Bell Genetics of seed flavonoid content and antioxidant activity in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.), *The Crop Journal*, 4, 391-397.
- PRABAKARANA, M., KIMA, S.H., SASIREKAB, A., CHANDRASEKARANC, M., CHUNGA, I.M. (2018) Polyphenol composition and antimicrobial activity of various solvent extracts from different plant parts of *Moringa oleifera*, *Food Bioscience*, 26, 23-29.
- PRODIC, I., RISTIVOJEVIC, M., SMILJANIC, K. (2023) Antioxidant Properties of Protein-Rich Plant Foods in Gastrointestinal Digestion—Peanuts as Our Antioxidant Friend or Foe in Allergies, *Antioxidants*, 12, 886-915.
- SHAN, L., KEHONG, L. (2019): Millet grain as a candidate antioxidant food resource: a review, *International Journal of Food Properties*, 22, 1652-1661.
- TONGSHUAI, Y., SEN M., JINGKE, L., BINGHUA, S., XIAOXI, W. (2022) Influences of four processing methods on main nutritional components of foxtail millet: A review. *Grain & Oil Science and Technology*, 5, 156-165.
- ZIA-UL-HAQ, M., AHMAD, S., AMAROWICZ, R., DE FEO, V. (2013). Antioxidant Activity of the Extracts of Some Cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) Cultivars Commonly Consumed in Pakistan. *Molecules*, 18, 2005-2017.

Eco-Industrial Park towards Eco-Agricultural Park: the implementation of the symbiotic relationships in a dairy farm

Maria Rosaria Sessa

University of Salerno

Ornella Malandrino

University of Salerno

Enzaemilia Cavallaro

University of Salerno

ABSTRACT

With the growing environmental concern, there is evidence that increasing the symbiotic relationship between companies in the same industrial area highly contributes to the more sustainable development of industrial activities. These principles inspired the concept of Eco-Industrial Park (EIP). A lot of EIP examples and realisations already exist throughout the world, and a lot of Eco-Industrial Park proposals are in progress achieved through different methods that can support the creation of exchange networks in these Parks before their design and construction. The scientific community can consider the symbiotic relationship of Eco-Industrial Parks in the sustainable agriculture field. The application of the principles of industrial symbiosis in the agricultural sector is an important and, above all, necessary change to transform society, face future challenges, and become more resilient to crises. However, this change requires innovative business models that must make use of the broad involvement of all actors in the agricultural supply chain. Therefore, the work aims to would highlight how the principles of Eco-Industrial Parks can favour the realisation of Eco-Agricultural Parks through sustainable and innovative practices, initiatives, and performances. An additional objective is to analyse the implementation of symbiotic relationships starting from a dairy farm in a South Italian Region, in order to the potential benefits to in-house production areas, neighbouring companies, and the local community through the Eco-Agricultural Park (EAP).

KEYWORDS: Symbiotic Relationship; Sustainable Agriculture; Environment; Dairy Farm; Eco-Agricultural Park; Italy

1 Introduction

In recent years, the interest in industrial areas, production systems, and the territory in which they are located managed according to the principles of the sustainability paradigm (Sessa et al., 2021).

In fact, the growing attention on, *i*) the environmental sustainability of raw materials, products, and production processes; *ii*) the expansion of markets in a global dimension; *iii*) the growing desire of consumers to buy in the short term; *iv*) the effects of changes climate change on territorial balance and human health because pollution phenomena; *v*) the importance of using criteria of social equity in the distribution of wealth and the protection of human rights; led to the transformation of the current global supplying, production and distribution system (Chakhar et al., 2005).

In the Declaration of Toledo (2010) the European Ministers for regional development, in the light of the principles of sustainability, defined the territory as “a complex system, comprising not only urbanised, rural and other spaces, e.g. industrial land, but nature as a whole and the environment surrounding mankind”, so you should adopt a holistic multidisciplinary approach capable of harmonising the various variables, economic, environmental and social sustainability local. While, a production system can be understood as the total composite of many elements – interdependent and of a different nature – that have the common goal of realising the transformation of input resources into finished products as output. This definition of the production system fits into a larger context which is the industrial area defined as the territory in which they are located to achieve economies of scale due to common services and infrastructure (Cariani, 2013).

Internationally, this translates into the concept of Eco-Industrial Parks (EIPs), within which are established mutually beneficial symbiotic relationships between organizations and their environment, through the management of raw materials, by-products, and waste shared (Beltramo et al., 2014).

The idea of Eco-Industrial Parks was first described during a presentation at the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) in Rio de Janeiro in 1992. It was intended to bring together producers of commodities and services to improve their economic performance and at the same time protect the environment by managing natural resources collectively. Residents of EIPs uphold high standards of energy efficiency and engineering solutions and work together to ensure that the waste of one company provides material for another while processed material is used to manufacture the end product. One of the most accepted definitions of EIP is that given by Lowe, Moran, and Holmes in 1995, for which the Eco-Industrial Parks can be understood as “a community of manufac-

turing and service businesses located together on common property. Member businesses seek enhanced environmental, economic, and social performance through collaboration in managing environmental and resource issues. By working together, the community of businesses seeks a collective benefit that is greater than the sum of individual benefits each company would realise by only optimising its performance” (Lowe et al. 1995).

By early 2005, communities in Africa, Asia, Europe, South America, and the United States had initiated EIP or other eco-industrial development planning processes. Nowadays, such EIPs are successfully developing in such countries as Canada (Hinton); the USA (Reventure Park); Denmark (Kalundborg); Finland (Rantasalmi); China (Dailan, Suzhou, Nanhai); Indonesia (Semarang, Industri Sona Maris); Japan; India; Vietnam; Thailand and Mexico (Tikhanov et al., 2016). Then, implementing Eco-Industrial Parks means not only improving the environmental performance of each enterprise but, rather, the strategic objectives of single-unit production match with those of other units belonging to the same area. This implies a greater availability of enterprises to cooperate with the other actors, both public and private, in the area to improve the management of the local community (Sessa and Sica, 2015). The creating synergy between companies through joint management processes and/or exchange of raw materials and energy can lead to economies of scale, an increase in the potential for innovation, the reduction of environmental impacts, and an increase in its competitive utility. The principles underlying Eco-Industrial Parks represent the framework from which to hypothesise that it is possible to apply the same principles in the agricultural sector by considering the symbiotic relationships that, starting from a dairy farm, can bring benefits to the internal farm production areas, neighbouring farms and the local community through the recovery of waste from livestock farming and transformation processes that, integrated into other production processes, can be considered resources, in a system where the principles of sustainability are pursued (Boix et al, 2015). Thus, the Eco-Agricultural Parks (EAPs) will be discussed.

From this background, this paper aims to would highlight how the principles of Eco-Industrial Parks can favour the realisation of Eco-Agricultural Parks through sustainable and innovative practices, initiatives, and performances. An additional objective is to analyse the implementation of symbiotic relationships starting from a dairy farm in a South Italian Region, in order to the potential benefits to in-house production areas, neighbouring companies, and the local community through the Eco-Agricultural Park. The paper is organized as follows. The next section describes the theoretical background. The proposed Eco-Agricultural Park is later reported and a discussion section. A conclusion session ends the paper.

2 Theoretical background

2.1 Eco-Industrial Parks model

The EIPs model can be considered an appropriate framework for the implementation of an Eco-Agricultural Park. The EIPs allow you to address many aspects such as *i)* resource efficient and cleaner production; *ii)* energy efficiency; *iii)* industrial symbiosis; *iv)* climate change; *v)* pollution; *vi)* social standards; *vii)* shared infrastructure; *ix)* improved spatial zoning and management (UNIDO, 2017).

According to Lowe's definition (1997), there are different types of EIPs: *i)* Eco-Industrial Parks or Estates, parks developed and managed by a single entity to obtain high economic, and social benefits environmental expertise; *ii)* By-product Exchange, groups of organizations aimed at the implementation of the symbiotic relationships, which promote the exchange of waste to reduce resource consumption and pollution; *iii)* Eco-Industrial networks, understood as groups of enterprises located in the same territory and oriented to the satisfaction of all the principles of sustainability to improve the economic, social and environmental performance of all players present the same territory.

In this paper, it will consider the By-product Exchange type. The focus will be on the symbiotic relationships between the dairy farm and other enterprises aimed at recovering waste from milk production to be transformed into resources for other enterprises in or near the Park.

Support for the development of EAPs can be offered through the provision of an economically, environmentally, and socially integrated approach and an appropriate development plan to meet the sustainability paradigm principles in a rural area. In particular, it is possible to identify key environmental, economic, and social drivers of Eco-Agricultural Parks (Table 1) starting with that used for the realisation of EIPs.

Economic	Environmental	Social
Direct and indirect employment creation	Climate change commitments at the global and national levels	Better working and labor conditions
Skills-upgrading of the labor force	Increased demand to improve efficiency and growth	Provision of vocational training

Technology and knowledge transfer through foreign direct investment	Responding to environmental and social concerns from consumers	Improved occupational health and safety
	Ensuring infrastructure is resilient to higher resource costs and adapts to climate change risks	Creation of green and digital jobs
Management of material and immaterial resources and conservation	Greening the supply chain and alleviating resource constraints	Transition to more sustainable land use
		Provision of social infrastructure to workers and community
Linkages between operational centers of the Park, small and medium-sized enterprises (SMEs) and communities outside the EAP	Presence of relevant legislative mechanisms	Support to local communities' well-being
		Provision of social infrastructure to workers, community and territory

Table 1 – Main key drivers of EAPs

Source: processing data on UNIDO, 2017.

Reaching these targets requires deep and long-lasting changes by organizations of rural areas to convert into Eco-Agricultural Parks

2.2 International and National Dairy Production

The global market continues to be characterised by strong upward tensions due to the reduced availability of dairy products. World milk production is decreasing in all major exporting countries, due to rising costs and unfavourable weather conditions, which have impacted farmers' management choices despite a milk price being positioned at historically high levels.

In recent years at the European level¹, drought and high summer temperatures negatively impacted both pasture availability and maize yields and farmers found themselves having to supplement cattle rations with those that they would normally have stored for the winter. Despite the summer heat, the drop in milk production was most noticeable in the spring months and, in the first seven months of 2022, EU milk deliveries were down 0.5% overall compared to the previous year. The drop in production affected some of the main producing countries (-1.3% in Germany and

¹ All data in this section are taken from the ISMEA 2022 Report. Available on: <https://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/1%252F0%252F1%252FD.6e69136bd2376c2cc40f/P/BLOB%3AID%3D12325/E/pdf:mode=download>.

France, -1.9% in Spain) while, in others, after accelerating over the previous two years, there was a setback (Italy -0.2%, Ireland -0.8%). The exception was Poland, where – thanks to the good performance of pastureland – production continues to increase (+2.4% in January–July 2022).

Cow's milk production in Italy has increased significantly over the last five years, exceeding 12.6 million tonnes in 2020 (+13.4% compared to 2015, +4.4% between 2020 and 2019).

As deliveries have increased (+13% over the last five years), the farm gate price of domestic milk increased on average by 3% between 2015 and 2020. Over the last ten years in Italy, the incidence of small farms (with less than 50 head of cattle) has decreased from 61% to 53%, to the advantage of the larger size classes. In particular, the weight of large farms (100–500 head of cattle) has increased and they now account for more than one-quarter of the total and raise more than half of the total number of head of cattle. At present, about 80% of dairy cattle are kept on holdings larger than 100 head of cattle. Over the next five years, the estimated increase in cattle milk production in Italy is 10–15%, with an average annual rate of change of about 2–3%. Imports are expected to decrease (by an estimated -8% in volume between 2020 and 2025), taking into account the increased availability of domestic raw materials and the decrease in domestic demand. Exports, by contrast, are expected to increase significantly (by an estimated +25% in volume between 2020 and 2025), taking into account the growth prospects of global demand supported by the increase in global population and income and development levels in 'emerging' areas. At present, national milk covers over 80% of domestic needs. Considering the estimated growth rates of national cow's milk production, Italy could reach (or almost reach) self-sufficiency in raw materials in 2025.

Whereas the strong heterogeneity of the profitability of Italian livestock breeders, the livestock farms most likely to survive in the medium to long term will be those that are larger, more structured, with a generational change, better organised, and more inclined to make investments in technology and genetics.

An increase in cow's milk production at the national level is assumed for the next five years. In particular, Italy should align itself with the growth trend of world production rather than with that of Europe, with an annual increase of 1.6%, compared to the +0.6% forecast for Europe. The increase in production stems from the breeders' quest for competitiveness; producing greater quantities means spreading fixed costs and thus benefiting from economies of scale. A part of dairy farms is economically sustainable, being equipped with high technical and managerial know-how and with strong incentives to increase production. Less structured farms will manage to continue their activities, but within specific niches or in the

presence of substantial resources to support social sustainability, aimed at enhancing the territory and its products and at avoiding the depopulation of certain areas.

The profitability of the national milk supply chain is influenced by the global dairy market. Milk production will therefore tend to stabilise, also due to the influence of exogenous factors, such as the introduction of new environmental regulations, the prices of production inputs, competition with other producers within the EU, and the consequent compression of milk prices. Furthermore, the Italian production system is very feed-intensive, which leads to a position of dependence on the input markets (e.g. maize and soya) and the relative international dynamics. In the medium term the availability of land, a non-repeatable factor, will also be a limiting variable for production. These criticalities could be solved through the dissemination of Eco-Agricultural Parks.

3 Eco-Agricultural Park Starting from Dairy Farm Context: a Proposal

This section will present a proposal for an Eco-Agricultural Park starting from to dairy company, Sele Milk Srl², that mainly produces the *Mozzarella di Bufala Campana PDO*³.

The Sele Milk Srl was founded in the early 1900s and is one of the oldest manufacturing companies in the Sele Plain, near the Temples of Paestum, a UNESCO heritage site, in the Campania region of southern Italy.

The fertile land and mild climate have created a natural habitat for grazing buffaloes, whose milk has favoured the production of the *Mozzarella di Bufala Campana*, which was awarded the PDO brand name in June 1996.

The EAP area covers 200 hectares of land, including cultivated land and stables for housing animals directly connected to the milking parlour, which is equipped with a carousel system that allows the milking operation to be carried out quickly but carefully. There is also a refrigeration area. The

² For privacy reasons, the name of the company is not mentioned in this paper. A artificial name will be used.

³ Since 1981, the Consortium for the Protection of *Mozzarella di Bufala Campana PDO* has been working to support and promote *Mozzarella di Bufala Campana* in Italy and around the world. Through to the work of the Consorzio di Tutela, the *Mozzarella di Bufala Campana* obtained the Protected Designation of Origin (PDO) in 1996. The prestigious European brand name institutionally recognises the unique organoleptic and product characteristics of this cheese, which are the result of the special environmental conditions and traditional processing methods adopted in the specific production area.

dairy farm represents the center of the EAP proposed (Figure 1), where several productive organisations can be included. Closely connected to it are, in particular, the packaging company and the biogas plant.

The EAP's main activity is, therefore, the production of *Mozzarella di Bufala Campana PDO* from the milk of buffaloes that grow in an environment where animal welfare is guaranteed. Nutritional requirements are met by fodder grown in an area of the EAP specifically dedicated to its production.

In particular, the buffaloes breeding produces high-quality milk that is destined for the Sele Milk Srl in the area of EAP, which processes it into a typical and certified product, that is *Mozzarella di Bufala Campana PDO*. The Sele Milk Srl, for its main production, releases polluting waste into the environment that can be recovered. The systemisation of by-products contributes to reducing environmental pressure, ensures an improvement in the use of energy resources, and reduces operating costs. For this purpose, the main by-products of the dairy farm can be exploited by the other production organisations of the EAP.

This is the case with whey permeate, the main waste product of milk processing, which becomes a resource in the production of mozzarella packaging. In line with the By-product Exchange approach, Sele Milk Srl decided to offer sustainable packaging for its flagship product, the *Mozzarella di Bufala Campana PDO*. The packaging of choice is a bio-polymeric whey protein coating. Purifying the whey yields film-forming proteins suitable for processing and use as a raw material for the creation of highly recyclable and eco-friendly organic plastic. The whey protein-based polymer barrier can replace petroleum-based plastics and can be removed using enzymes for recycling. In addition, the material has better barrier properties than existing polymers. The shelf life of the products is maintained, and the sensory characteristics are better than if a conventional film were used; the maintenance of food safety regulations in terms of volatile compound emissions is guaranteed.

While the fodder needed to feed the animals can be produced in a cultivation area of EAP and wastewater from buffaloes breeding can be used to fertilise these fields. Instead, the remaining wastewater can be used for biogas production. In fact, in the EAP area is present a biogas production plant through anaerobic fermentation is in operation; the slurry produced is collected through the grid system that makes up the floor of the stables, pumped into a digester, and mixed with other biomass. This makes it possible to produce electricity and fertilise the land with the residue in a natural and environmentally friendly way.

In order to feed the biogas plant, neighbouring rural farms deliver their livestock residue to the plant to reduce disposal costs and ensure a local symbiotic mentality.

The bioenergy produced from waste meets Sele Milk Srl's energy needs and, in parallel, is sold to the Italian State or other organisations present in the EAP area, to meet the energy needs of the area, the community, or the territory of reference.

By adopting the Eco-Agricultural Park model, the need for material resources can be met by the output of the various operational centers that make up the area.

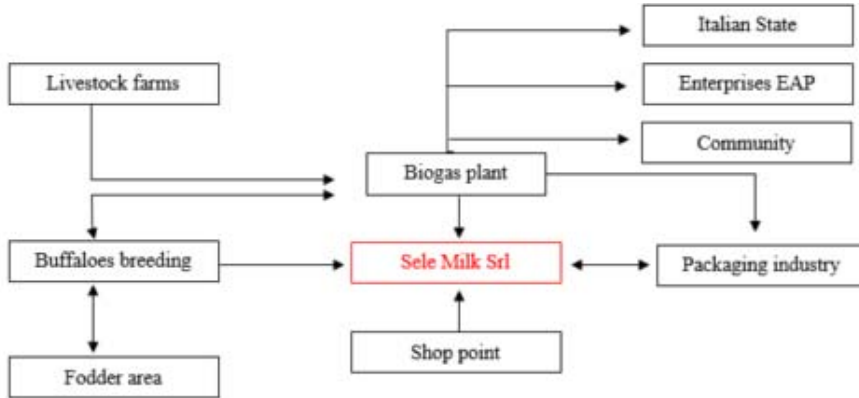


Figure 1 – Proposed representation of Eco-Agricultural Park starting to dairy farm

Source: own processing

Therefore, by following a holistic cradle-to-cradle environmental approach, the management of waste from mozzarella production provides sustainable packaging solutions, waste reduction, recyclability of certain materials, and the production of new resources to be reintroduced into the production cycles of the same company or those of other companies in the EAP (Moratalla and Paul, 2022).

3.1 Production Business Plan

The first step of the production cycle of Sele Milk Srl in EAP provides for the breeding of about 230 dairy buffaloes, which is carried out according to the production regulations for *Mozzarella di Bufala Campana PDO*.

The animals must be reared in semi-freedom housing, which is why the farm is equipped with paddocks, that is, open-air enclosures where the buffaloes can rest. Since the buffalo is an animal known for its familiarity with marshy environments, the breeding also includes suitable ponds.

The quality of milk and its nutritional properties are closely linked to the animal's diet, so it is necessary to choose the right rations. The units

are calculated based on the weight of the animal and the average milk produced. That is 0.7-0.8/quintals of live weight and 0.6-0.8/litres of milk. The buffaloes are fed with dried fodder, for example, hay, followed by starch and feed. After milking, the milk is transferred directly to the dairy in front and is processed according to the production rules of the *Mozzarella di Bufala Campana PDO*.

For every litre of milk, 2.5 litres of wastewater are generated. The transfer, filtration, and transformation process of milk takes place within 60 hours after milking.

At the end of ripening, the curd is cut into strips and placed in special containers where, with the addition of water heated to 95°C, it is stretched and then cut into individual pieces of the specified shapes and sizes. The pieces are first placed in cold water for a few minutes and then in brine for the salting phase.

The finished product, to be marketed, is packaged in the specific operation center of EAP for the production of sustainable packaging. Eco-packaging is produced from whey, a biopolymer by-product of cheese production. The whey coating consists of a barrier layer and an active layer. The barrier layer is created by converting sugars and acids into Whey Protein Isolates (WPIs), to which plasticisers can then be added. The active layer contains antimicrobials or antioxidants to extend the shelf life of the packaged food.

The protein formulation, obtained by purifying sweet whey and sour whey, is mixed with various softeners and additives, which are biocompatible, and then used to produce different types of films for food and other sectors. The development is complex, as only the right proportions of additives, softeners, and whey ensure that the food is adequately protected, for example, the excessive use of softeners results in a lower barrier effect against moisture and, consequently, the rapid degradation of the food.

A risk assessment indicated that the use of the new material did not compromise general food safety. Furthermore, the transmission rates of oxygen and water vapour are significantly lower than those of other biopolymers. Waste whey would cause serious water pollution if left untreated.

Therefore, the EAP is also equipped with a plant for the production of biogas from biomass. This exploits anaerobic digestion – due to specialised enzymes and bacteria – in a humid and oxygen-free environment (the digester), the biomass ferments, producing biogas, consisting mainly of methane and carbon dioxide.

The biomass is then stored in tanks or silos and is pre-treated and sterilised to remove any pathogens.

The biomass undergoes a mechanical pre-treatment that allows it

to be crushed to prevent it from damaging the plant and to increase the surface area that can be attacked by bacteria.

The material is transferred through special pumps and pipes into digesters, where it is continuously mixed with propeller mixers. The digesters are nothing more than hermetically sealed and heated tanks to promote gasification. The gases accumulate in the upper part of the digesters, from where they are taken to the next stage.

The gas produced in this process is 50–70% methane and 30–50% carbon dioxide. Storage can take place in the digesters themselves or in an external tank.

- As far as biogas treatment is concerned, the processes adopted are:
- filtration, through gravel and sand;
 - desulphurisation, to prevent the hydrogen sulphide present from corroding the cogeneration unit;
 - removal of the CO₂ component;
 - cooling and dehumidification, are necessary to prevent moisture from damaging the cogenerator;
 - reducing pollutant emissions.

Once available, the biogas is fed into the cogenerator, which consists of an endothermic (internal combustion) engine that uses it to generate electricity and heat. There is also a permanent emergency gas burner in the biogas plant to avoid the direct emission of excess biogas into the atmosphere, if necessary. The electrical energy generated is partly sold to the electricity distribution network and partly used to power the operation centers of EAP. The thermal energy, in the same way, is used partly to heat the utilities and for industrial processes of the area, and partly for the digester (in which the biomass is kept at a constant temperature).

In light of this production cycle, a hypothesis can be made of the main costs (Table 2) of the company with 230 buffaloes breeding and the revenues it receives from the sale of products to customers and by-products to the other operation centers of the EAP, in a year⁴.

Cost items	Hypothesis value
Pressed alfalfa hay	230 €/ton
Dehydrated alfalfa	300 €/ton
Chopped maize in the field	48 euro/ton

⁴ Cost items based on the ISMEA report 2022. Available on: <https://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/1%252F0%252F1%252FD.6e69136bd2376c2cc40f/P/BLOB%3AID%3D12325/E/pdf:mode=download>.

Costs of a biogas plant	3,500 – 4,500 €/kWh
Operating costs of a biogas plant:	
– <i>Direct operation and maintenance costs</i>	0.05 €/kW
– <i>Costs of financing the installation</i>	0.06 €/kWh
– <i>Exceptional operating costs</i>	0.11 €/kWh
Cost of self-produced biomass	650–850 €/kW

Table 2 – An assumption of cost items for Sele Milk Srl

In some cases, the cost of transport must also be taken into account.

Bulls: 2,100 €

Buffaloes: 1,800 €

Heifers: 2,200 €

Bullocks: 1,800 €

Annutoli: 900 €

While concerning the revenues⁵ that the company could obtain, the main items are listed below:

Buffalo milk: 1.25-1.35 €/l

Mozzarella di Bufala Campana PDO: 9-13 €/kg

The selling price of whey-based for packaging: 8-13 €/kg

The selling price of the electricity produced by the biogas plant is given by the state's all-inclusive tariff⁶ of 0.28 euro/kWh. So, considering that a biogas plant can work 7,800 hours per year (i.e. on a continuous cycle day and night for 7 days a week), it can provide revenue of €2,184 per kW of power produced. Therefore, a 100 kW plant provides approximately 220,000 euros of revenue per year, a 200 kW plant approximately 440,000 euros per year, and a 1 MW plant approximately 2.2 million euros per year.

4 Results and Discussion

The Sele Milk Srl company considered employing a differentiation strategy by offering products with tangible and intangible elements that increase their absolute value for the target market of reference.

The principal product is given the characteristics of uniqueness, value, perception, and economic sustainability.

⁵ Revenues items based on are derived from data provided by Sele Milk Srl.

⁶ The state's all-inclusive tariff includes the selling price of electricity and the state incentive for energy produced by such plants.

However, the company decided to operate responsibly and transparently towards people, communities, and the environment and manifests a willingness to prioritise the implementation of the sustainability paradigm. The reputation and value system are the company's intangible assets, which are perceived by customers.

With a view to differentiation within the *Mozzarella di Bufala Campana* PDO supply chain, the most important and decisive step is certainly the promotion of a circular economy based on the exploitation of waste products and their reuse after treatment through the implementation of EAP (Velasco-Munoz et al., 2021). The logic behind EAP responds perfectly to the circular economy model and the needs of sustainable consumers, a category that has grown more since the Covid-19 pandemic in the 2020-2022 period. In Italy, for example, 30% of shoppers say they avoid buying plastic products; 36% have stopped buying products because of the negative impact on the environment; 62% prefer to buy from companies that show concern for the environment (Essity, 2021).

The Sele Milk Srl company, sharing your by-products and the production waste with the other operational centers of EAP, fully fulfils the circular economy model and is among the companies that are potentially preferred by the new category of consumers.

The management of a complex system of activities like EAP needs coordination that is fundamental to the functioning of each operation center, wherein resources can be the waste product of another activity in the same or other chain. It is, therefore, necessary for the organisation of EAP to be led by someone with good leadership skills.

In addition, the EAP management starting to dairy farm requires a good capacity of investment and know-how. Also, in the light of the fact that milk has the highest production costs in Italy as compared to the main EU producers that achieve similar quality performance.

Therefore, Agro-Eco Park products must be able to appeal to a broad user base that guarantees a good return.

Unfortunately, the consumption trend of milk-derived products is slowing down throughout the Western world, which is showing eating habits increasingly oriented toward plant-based products, also supported by heavy marketing investments.

The significant increase in the global population will remain the main driver of demand growth, although consumption patterns and expected trends may vary from country to country and in step with income and development levels. Italian dairy farms are oriented towards specialities (Fang and Zhou, 2009). Producers in the PDO segment will have to continue to produce at high-quality levels in order to support and confirm the Made in Italy image on world markets and benefit from the increased added

value. Considering current consumer needs, there is a need for coordinated information and communication strategies that:

- highlight the supply chain's commitment to environmental, social and nutritional sustainability
- counter the negative social perception by consumers of intensive livestock farming (Moratalla and Paul, 2022).

The environmental issues cannot be solved by reverting to the past, but through the introduction of appropriate technologies and innovations, adequately supported by research.

In fact, the evocation of bucolic agriculture, still much promoted in the media, is no longer realistic. Environmental and social sustainability and food security are achieved only through technological innovation, advances in genetics, improvements in animal nutrition, valorisation of waste, and sharing of by-products and energy in the EAPs contest.

Structuring the supply chain with a view to environmental and social sustainability and animal welfare will increasingly be strategies adopted by those organisations oriented towards the creation of shared value in the medium and long term. An important contribution in this sense could be given by the establishment and diffusion of EAPs which certainly support the creation of the sustainability paradigm.

5 Conclusion

In the current context of resource scarcity, global climate change, environmental degradation, and increasing food demand, the implementation of EAPs represents a promising strategy for making the agri-food sector sustainable, restorative, and regenerative.

Knowing that the natural resources of the world are limited, solutions have to be found to decouple economic growth from resource consumption. For this reason, it is necessary to adopt tools, standards, models, and procedures of environmental and social sustainability, shared both by public players and private ones present in the territory, to address enterprises towards a real redevelopment path for the creation of a sustainable territory system. Enterprises, consumers, but also citizens, are called to interpret, in different ways, global sustainability challenges, and implement concrete and distinctive actions, taking the opportunities offered by greater attention to environmental and social aspects management. In the agri-food sector, one way to address these challenges could be the implementation of EAPs based on the circular economy model and symbiotic relationships. This is the case of the Sele Milk Srl company and the construction of the related EAP described in this paper.

This is characterised by the *Mozzarella di Bufala Campana PDO* production. From buffaloes, milk is produced, which, when processed, gives rise to *Mozzarella di Bufala Campana PDO* and whey permeate. The latter can be used for the production of sustainable packaging in order to preserve and transport the mozzarella. From the recovery of the by-products, it produced energy through the biogas plant.

Such production is part of a system that respects nature and the consumer, which is realised through symbiotic relationships that favour the exchange of waste and the valorisation of waste into resources, in order to reduce resource consumption and negative economic, environmental, and social externalities.

Therefore, it will be important to pursue the logic that governs an EAP to satisfy the needs of consumers who are increasingly oriented towards purchasing products made using sustainable processes and to respond to global sustainability challenges.

Future research will focus on the evaluation of EAPs' impacts on the economic, environmental, and social sustainability of enterprises, communities, and citizens of reference.

References

- BELTRAMO, R., VESCE, E., PAIROTTI, M.B., (2014). L'area industriale di Pescarito: introduzione allo studio. In Prove di APEA. Strumenti per l'evoluzione verso le Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate. Il caso Pescarito. Edited by: Beltramo, R., Vesce, E.. Milano: Ambiente Editor, Italy.
- BOIX, M., MONTASTRUC, L., AZZARO-PANTEL, C., DOMENECH, S., (2015). Optimization methods applied to the design of eco-industrial parks: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 87, 303-315.
- CARIANI, R., (2013). Eco-aree produttive. Guida all'eco-innovazione, alle politiche per la sostenibilità e ai progetti operativi nelle Aree Produttive Ecologicamente Attrezzate (APEA). Milano: Ambiente Editor, Italy.
- CHAKHAR, S., MOUSSEAU, V., PUSCEDDU, C., ROY, B. Decision map for spatial decision making in urban planning. The 9th International Computers in Urban Planning and Urban Management Conference, London, UK, 29 June - 1 July; Batty, M., Eds. The Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA), University College London, UK, 2005, 1-18.
- ESSITY, (2021). Available on: <https://reports.essity.com/green-response/1/key-findings/statistics.html>.
- FANG, Y., ZHOU, H., (2009). Value flow analysis based on EAP industrial chain: case of Huaning in Xichang, Sichuan. *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 310-316.
- LOWE, E., (1997). Creating by-product resource exchanges: Strategies for eco-industrial parks. *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), 57-65.
- LOWE, E., MORAN, D.H., (1995). A fieldbook for the development of eco-industrial parks. Report for the U.S. Environmental Protection Agency. Oakland: Indigo Development International, California.
- MORATALLA, A., Z., PAUL, V., (2022). What is an Agricultural Park? Observations from Spanish Experience. *Land Use Policy*, 112.
- SESSA, M.R., ESPOSITO, B., SICA, D., MALANDRINO, O., (2021). A Logical-Mathematical Approach for the Implementation of Ecologically Equipped Productive Urban Areas. *Sustainability*. 13(1365). Available on: doi:10.3390/su13031365.
- SESSA, M.R., SICA, N., (2015). C'è spazio per la bioeconomia. *Nuova Energia*. 2, 58-63.
- TIKHANOV, E., KRIVOROTOV, V., KALINA, A., ERYPALOV, S., (2016). Model of Eco-Industrial Park Development as a Tool for Fostering Energy Efficient Economy. *E3S Web of Conferences*, Vol. 6, 2016. International Conference on Sustainable Cities (ICSC 2016). Available on: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160603005>.

- UNIDO, (2017). An International Framework For Eco-Industrial Parks. Washington: the World Bank Group.
- VELASCO-MUNOZ, J., MENDOZA, J.M.F., AZNAR-SANCHEZ, J.A., GALLEGOSCHMID., A., (2021). Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. Resources, Conservation & Recycling, 170.

Dall'Agricoltura 4.0 all'Agricoltura 5.0: le tecnologie

Angela Carelli

Università di Cassino e del Lazio Meridionale

Ilenia Bravo

Università di Cassino e del Lazio Meridionale

Patrizia Papetti

Università di Cassino e del Lazio Meridionale

ABSTRACT

Secondo le stime ONU la popolazione mondiale entro il 2050 raggiungerà i 9,7 miliardi di persone, con un relativo incremento della domanda mondiale di prodotti agricoli del 50% rispetto al livello attuale. Ne consegue che la sfida futura dell'agricoltura sarà di aumentare la produttività in maniera più sostenibile, minimizzando l'uso di elementi chimici quali pesticidi, fertilizzanti ed erbicidi. Lo strumento che consente, grazie all'utilizzo delle nuove tecnologie, di trasformare in tal senso i processi di produzione è l'agricoltura di precisione. Il futuro del settore primario sono ricerca, sviluppo, digitalizzazione e innovazione delle infrastrutture e quindi l'Agricoltura 5.0, caratterizzata principalmente dalla cooperazione tra macchine e uomo in base al concetto di Empowering people, ovvero la responsabilizzazione delle persone. Infatti i nuovi robot, i cobot, sono macchine collaborative, programmate per interagire con gli esseri umani in spazi di lavoro condivisi. Scopo del presente articolo è lo studio delle tecnologie utilizzate nell'agricoltura di precisione.

Dopo aver definito il concetto di agricoltura 4.0, mostrando l'evoluzione del concetto nel tempo, in relazione alle tecnologie ed ai campi di applicazione, si è focalizzata l'attenzione sul ruolo che le nuove tecnologie hanno nello sviluppo del settore primario, analizzando le principali di esse.

PAROLE CHIAVE: Evoluzione del concetto di agricoltura, Sostenibilità, Agricoltura 5.0, Tecnologie abilitanti, Robotica, Intelligenza artificiale

1 Introduzione

Nel tempo, con l'esplosione della popolazione mondiale e della conseguente domanda di beni alimentari, la priorità fondamentale del settore agricolo è divenuta il nutrimento della popolazione.

Le rivoluzioni industriali hanno sempre prodotto una svolta nel settore agricolo. L'obiettivo di adeguamento dell'offerta alla domanda di

beni alimentari per il futuro sarà raggiunto dall'implementazione dell'agricoltura 5.0 o agricoltura di precisione intelligente, in quanto evoluzione dell'Agricoltura 4.0 basata sui dati con rafforzamento fornito dall'AI e dai suoi sottoinsiemi come l'apprendimento automatico e il deep learning.

L'agricoltura intelligente, basata su robotica e l'AI e nota anche come agricoltura basata sui dati, prende decisioni ottimali solo dopo un'analisi rigorosa dei big data.

L'applicazione della robotica all'agricoltura è diventata una nuova piattaforma grazie agli algoritmi altamente accurati dell'AI. L'agricoltura 5.0 è in fase di sviluppo e, con il progresso dell'AI, sarà sicuramente accelerata ed aprirà la strada ad un'agricoltura più sostenibile in futuro.

Scopo del presente articolo è lo studio delle tecnologie utilizzate nell'agricoltura di precisione e del suo sviluppo. Dopo aver definito il concetto di agricoltura 4.0, mostrandone l'evoluzione del concetto nel tempo, in relazione alle tecnologie ed ai campi di applicazione, si è focalizzata l'attenzione sul ruolo che le nuove tecnologie hanno nello sviluppo del settore primario, analizzando le principali di esse.

2 Rivoluzione della tecnologia agricola: evoluzione del concetto di agricoltura

Negli ultimi cento anni, il concetto di agricoltura si è evoluto in relazione allo sviluppo tecnologico passando dall'agricoltura da 1.0 a 5.0 (Kovács & Husti, 2018).

L'agricoltura 1.0 inizia nel ventesimo secolo (1900) ed è definita dalla meccanizzazione (introduzione del trattore, incremento dell'efficienza), ma è ancora un settore ancora a alta intensità di lavoro con elevato impiego di manodopera e di forza animale per lo svolgimento di molte attività ed una relativamente bassa produttività per ettaro.

L'agricoltura 2.0 nasce negli anni Cinquanta e si fonda sulla cosiddetta "Rivoluzione Verde" con l'introduzione di nuove pratiche agronomiche basate sulla meccanica mediante l'utilizzo dei fertilizzanti e dei pesticidi, da cui è conseguito da un lato un aumento della produttività e dall'altro impatti diretti sull'ambiente.

L'agricoltura 3.0 (agricoltura di precisione), comparsa nell'ultimo decennio dello scorso secolo, è stata definita da Pierce e Nowak (1999) come "un sistema che fornisce gli strumenti per fare la cosa giusta, nel posto giusto, al momento giusto" (Di Gennaro, et al., 2019), ovvero strategia di gestione aziendale che usa le tecnologie dell'informazione per acquisire dati che portino a decisioni finalizzate alla produzione agricola. Nello specifico, si fonda su strumenti per la raccolta di dati mediante la geolocalizzazione

satellitare e conseguenti strumenti per l'intervento in campo (monitoraggio del campo, applicazioni a rateo variabile con distribuzione differenziata di concime e fitosanitari, sistemi di guida assistita e automatica per trattori e macchinari agricoli).

L'agricoltura 4.0 (agricoltura connessa - cloud), basata su concetti quali Internet of Things, Internet of Services, ecc., determina, in base alla "Smart Factory" (Fabbrica Intelligente), la nascita della Smart Agriculture, che consente di connettere macchine, lavoro, sistemi in generale attraverso reti intelligenti, create lungo tutta la Value Chain, che possono controllarsi autonomamente e l'un l'altra. Una Smart Farm (Fattoria Intelligente) comporta quindi l'autonomo adattamento in tempo reale ai cambiamenti in modo da incidere sulla sua competitività del mercato, essendo fondata sulla costante comunicazione tra mercato e produzione ed all'interno alla stessa azienda, mediante la metodologia della virtualizzazione. L'agricoltura 4.0 è caratterizzata dall'integrazione di tre tecnologie: agricoltura di precisione, automazione, Sistemi informativi e clouding (ICT & IoT).

L'agricoltura 4.0 apre la strada alla prossima evoluzione dell'agricoltura consistente in operazioni senza personale e sistemi decisionali autonomi: l'agricoltura 5.0 sarà basata sulla robotica e intelligenza artificiale (Zambon et al., 2019).

L'agricoltura 5.0 sarà caratterizzata da un'impresa agricola digitalmente integrata, con automazione completa delle operazioni in campo attraverso il Fog computing (Bonomi et al., 2012; Atlam et al, 2018). Questa tecnologia consente, attraverso l'elaborazione dei dati con risorse di computing locali, di limitare l'enorme traffico dei dati, permettendo così la memorizzazione sui data center remoti solo delle informazioni finali, con riduzione dei tempi di risposta.

Le prossime reti 5G collegheranno i veicoli che saranno equipaggiati con le più innovative tecnologie radar, telecamere per l'elaborazione di immagini e tutta una serie di servizi cloud a supporto della manutenzione predittiva al fine di offrire una diagnostica remota in real time. In futuro, avranno maggiore diffusione i sistemi di guida autonomi, si svilupperanno le tecniche di Artificial Intelligence (AI) e si lavorerà all'integrazione tecnologica, specie in vista dello sviluppo di sistemi di swarm robotic applicati al contesto agricolo.

3 Le tecnologie abilitanti dell'agricoltura 4.0 e dell'agricoltura 5.0

3.1 Sistemi di geolocalizzazione

In agricoltura, un sistema GNSS è utilizzato principalmente per (Calcante et al., 2016):

- la gestione sito-specifica, sia con la georeferenziazione dei dati relativi al campionamento del suolo, al monitoraggio delle colture, al monitoraggio operativo, alla mappatura delle produzioni, sia con la realizzazione del controllo operativo delle attività meccanizzate di campo (ad esempio la distribuzione a rateo variabile di sementi e concimi);
- la navigazione, sia con la guida assistita e/o automatica delle macchine agricole, sia con il monitoraggio e coordinamento dei cantieri di lavoro (come per esempio nel caso di macchine da raccolta); in un futuro prossimo, nel concetto di “navigazione” rientrerà anche l’automazione di operazioni tramite robot di campo.

I sistemi di guida satellitare si basano sul principio per cui un’antenna ricevitrice posta sulla macchina agricola collegata al sistema di sterzo, corredata da sensori angolari montati sulle ruote e da un apposito terminale installato in cabina. Essi si distinguono in (Pessina & Facchinetti, 2021):

- Guida assistita, basata sulla guida manuale coadiuvata da un display di bordo che fornisce all’operatore una visualizzazione grafica della propria posizione e la traiettoria da seguire;
- Guida semi-automatica (o parallela), che può essere governata da un volante elettrico o direttamente da un’elettrovalvola inserita nel sistema idraulico ed è comandata dal computer di bordo guidata dal segnale RTK;
- Guida autonoma, che non richiede alcun tipo di intervento umano. Il trattore è guidato dal GPS e da una serie di sensori in grado di rilevare ostacoli di varia natura ed è in grado di gestire le svolte a fine campo e le attrezzature in completa autonomia.

Uno svantaggio di questa tecnologia, però, è rappresentato dall’acquisto dei dispositivi RKT-GNSS per la creazione delle mappe, dall’acquisto dei sistemi di guida in RKT e dall’adattamento delle macchine agricole a questa tecnologia. A riguardo, l’UE ha finanziato il progetto AUDITOR (European Commission, 2017), sviluppando così un sistema di potenziamento del GNSS a terra, in grado di fornire agli imprenditori agricoli di tutta Europa servizi e applicazioni ad alte prestazioni ed efficienti in termini di costi. Tramite l’applicazione AUDITOR, gli imprenditori agricoli sono in grado di misurare con esattezza la variabilità spaziale in terreni e colture e questi dati sono espressi sotto forma di mappe di resa e consentono loro di applicare con precisione fertilizzante, acqua e pesticidi, riducendo in tal modo i costi di produzione e l’impatto ambientale dell’azienda agricola. Fondamentale nell’ambito dei sistemi di guida autonoma è l’ISOBUS (MI-PAAF, 2017), protocollo di comunicazione definito dallo standard ISO 11783 con la finalità di standardizzare il metodo e il formato di trasmissione

dati fra i sensori, gli attuatori, gli elementi di controllo e gli elementi di registrazione e visualizzazione dati, siano essi montati su, o parti di, trattori o macchinari agricoli. Questa tecnologia è utile per far comunicare in maniera standardizzata attrezzi, trattori e sistemi elettronici di bordo.

In sintesi, con satelliti e droni è possibile: realizzare modelli GIS (Geographic Information System) del terreno, ossia modelli che utilizzano sistemi informativi computerizzati che consentono di associare i dati alla loro posizione geografica sulla superficie terrestre per poi elaborarli, coordinare macchine autonome, effettuare sensing remoto delle colture o tele-rilevamento mediante tecniche utili a rilevare le proprietà chimiche e/o fisiche di un terreno attuare analisi idriche.

3.2. Tecnologie per monitoraggio in campo: proximal e remote sensing

A seconda delle specifiche dei sensori e del metodo di rilevamento dei parametri ambientali e colturali, è possibile distinguere due tipi di monitoraggio: proximal sensing o monitoraggio di prossimità, in cui la rilevazione dei dati avviene grazie a sensori collocati nelle immediate vicinanze della coltura (Viscarra & Adamchuk, 2013), e remote sensing o monitoraggio da remoto, mediante droni, elicotteri, areoplani o satelliti equipaggiati con apposite fotocamere (RGB, multispettrali ecc.) in grado di catturare immagini all'interno dello spettro visibile e non visibile all'occhio umano.

Il remote sensing (Figura 1) permette di operare in areali estesi e di difficile accesso in brevi periodi di tempo e con un'elevata risoluzione e precisione del dato (Sishodia et al., 2020).

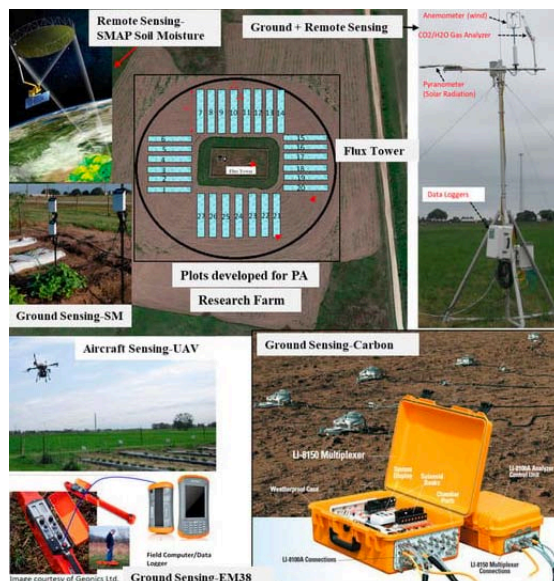


Figura 1 – Un layout tipico per i sistemi di rilevamento remoto, aereo e terrestre utilizzati per l'agricoltura di precisione.

**SMAP = Soil Moisture Active Passive; PA = Precision Agriculture;
SM = Soil Moisture; UAV = Unmanned Aerial Vehicle; EM = Electromagnetic.
(UAV photo credit – Dr. Ripendra Awal, PVAMU, Prairie View, TX, USA)**

Fonte: Sishodia et al., 2020

Per quanto riguarda i sensori, essi sono dispositivi che forniscono in uscita un segnale dipendente dal valore di una determinata grandezza presente all'ingresso, interagendo con la grandezza che devono misurare e con l'ambiente esterno e rilevando le variazioni.

I sensori sono molto utilizzati nell'agricoltura di precisione: sono necessari per poter migliorare l'efficienza dell'agricoltura perché mediante l'elaborazione dei dati rilevati forniscono informazioni utili alle decisioni da prendere. I fattori che sono maggiormente tenuti sotto controllo grazie ai sensori sono l'umidità, la temperatura, la mineralità del terreno, la presenza di parassiti.

In base alla distanza, i sensori sono classificati in:

- prossimali, posizionati su macchine agricole (Priori et al., 2016);
 - aerotrasportati, posizionati su aerei o droni e definiti sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR) (Matese et al., 2016);
 - satellitari, posizionati su piattaforme satellitari (Casa et al. 2016).
- I principali sensori impiegati nell'agricoltura di precisione sono:
- Sensori elettrochimici, che forniscono informazioni base per

l'agricoltura di precisione, quali i livelli di nutrienti presenti nel suolo, il pH del suolo, gli ioni presenti nel terreno;

- Sensori meccanici, che misurano il grado di compattazione del terreno, mediante una sonda che penetra nel suolo e registra le forze resistive attraverso l'uso di celle di carico o estensimetri. Una tecnologia simile viene utilizzata anche su trattori di grandi dimensioni per prevedere i requisiti di trazione per le attrezzature di innesto al suolo. I tensiometri, invece, rilevano la forza utilizzata dalle radici nell'assorbimento dell'acqua e sono molto utili per gli interventi di irrigazione dei campi;
- Sensori elettromagnetici, che monitorano la salinità del suolo, la sostanza organica presente, ma anche il contenuto idrico del terreno;
- Sensori a ultrasuoni, che sono utilizzati per il controllo dell'irrigazione dei campi e risparmio dei pesticidi, permettendo la stima della distanza tra il sensore e l'ostacolo;
- Sensori optoelettronici, che mediante la trasformazione di segnali elettrici in segnali ottici e viceversa individuano i cambiamenti dei parametri ottici, come la lunghezza d'onda, o l'assorbimento della luce, ma non avendo una visione computerizzata non possono distinguere una coltura da un infestante;
- Sensori ottici, quali fotocamere, videocamere e scanner, che permettono di avere una visione computerizzata, per cui sono molto utilizzati sui mezzi agricoli, sui droni e/o per il telerilevamento.

I dati forniti dai sensori devono essere elaborati da software specifici, che controllano ed elaborano i dati, restituendo all'operatore informazioni utili a definire la migliore strategia di intervento. L'utilizzo dei sensori in agricoltura ha consentito la digitalizzazione delle aziende agricole, permettendo loro di conoscere e monitorare in tempo reale lo stato di salute delle colture e degli animali.

Infatti, i sensori permettono di misurare i valori di importanti parametri, i quali, grazie alla loro connessione ad Internet, sono inviati simultaneamente a dei cloud consultabili anche da remoto e quindi condivisi con i sistemi di monitoraggio e controllo, realizzando un notevole risparmio dei tempi attuativi delle azioni correttive: i sensori si integrano con l'IoT.

I sensori possono essere posizionati sia sui veicoli come trattori e droni, sia sui campi.

Sulle macchine agricole, il loro numero cresce sempre di più, perché ne consentono il monitoraggio continuo, con relativa sostituzione dell'operatore. Sui campi, invece, possono essere installate stazioni agrometeo, che con l'utilizzo di sensori specifici come quelli della temperatura, dell'umidità dell'aria, della velocità e della direzione del vento, misurano le condizioni meteorologiche anche da terra.

3.3 Blockchain

La blockchain è un registro digitale aperto e distribuito delle transazioni in grado di memorizzare record di dati (solitamente, denominati “transazioni”) in modo sicuro, verificabile e permanente.

Una volta scritti, i dati in un blocco non possono essere retroattivamente alterati senza che vengano modificati tutti i blocchi successivi ad esso e ciò, per la natura del protocollo e dello schema di validazione, necessiterebbe del consenso della maggioranza della rete. Essa è rappresentabile come una lista, in continua crescita, di blocchi collegati tra loro e resi sicuri mediante l’uso della crittografia (Garavaglia, 2018).

La blockchain rappresenta una delle tecnologie più promettenti nel fornire maggiore coerenza negli ampi ambiti del settore agricolo. Sia che venga applicata alla gestione di magazzini, silos e catene di approvvigionamento in modo più intelligente, sia con la sua utilizzazione sul campo come strumento per trasmettere dati in tempo reale su colture e bestiame, ci sono pochi aspetti di un’operazione agricola che non trarrebbero beneficio in una forma o nell’altra dalla tecnologia blockchain (Xiong et al., 2020).

L’utilizzo della blockchain in agricoltura permette di creare più trasparenza e fiducia tra gli attori della filiera di approvvigionamento, mediante la trasparenza e tracciabilità delle transazioni e dei dati. È pertanto uno strumento utile anche in relazione alle norme di sicurezza alimentare, perché consente la tracciabilità del prodotto dal campo alla tavola.

Questa tecnologia viene già utilizzata in varie parti del mondo perché fa corrispondere i dati in tempo reale, evitando duplicazioni nelle procedure di controllo dei prodotti.

Secondo l’analisi pubblicata nel marzo 2022 dall’Osservatorio Smart Agrifood del Politecnico di Milano e dell’Università di Brescia, l’Italia si colloca al secondo posto nel mondo per progetti blockchain in agricoltura preceduta solo dagli Stati Uniti: l’Italia conta il 9% dei progetti blockchain a livello globale, mentre l’Europa nel suo complesso ne conta il 28%, seguita dalle Americhe al 16% e dall’Asia al 9%. Gli obiettivi dichiarati dei progetti blockchain agrifood nel mondo sono i seguenti (Osservatorio Smart Agrifood, 2022):

- Opportunità commerciali (54%);
- Efficienza della supply-chain (47%);
- Garanzia di sostenibilità sociale ed ambientale (26%);
- Efficienza nelle procedure di richiamo di prodotto (13%);
- Diminuzione delle contraffazioni (11%);
- Miglioramento dell’efficienza dei sistemi di pagamenti (11%).

3.4 Robot a intelligenza artificiale e droni

Altro elemento caratterizzante l’innovazione in agricoltura è lo sviluppo di droni e robotica.

I robot si sono ormai diffusi in molti settori produttivi, compreso quello agroalimentare. In questo settore l'impiego dei robot e dell'Intelligenza Artificiale gioca un ruolo fondamentale perché permette di automatizzare e migliorare i processi produttivi. Nel settore agricolo, la possibilità di impiego dei robot va dalla stalla al campo, dalla semina alla potatura, o dalla somministrazione dei mangimi nelle stalle fino alla mungitura del bestiame.

L'automazione della meccanizzazione agricola è iniziata circa venti anni fa, ed ormai è il presente dell'agricoltura. Essa ha permesso di rivoluzionare il lavoro nei campi e nelle stalle, consentendo un forte incremento della competitività, produttività e sostenibilità delle aziende. La maggior parte delle aziende agricole e zootecniche dispongono di robot agricoli che svolgono in autonomia una serie di operazioni in modo da poter contenere i costi, sopperire alla carenza di manodopera, ma anche diminuire l'impiego di concimi, nonché di mangimi e migliorare la sicurezza sul lavoro degli agricoltori, in modo che essi non si espongono a situazioni rischiose durante l'orario lavorativo o a sostanze chimiche potenzialmente dannose per la loro salute (Sabry, 2021).

Con l'impiego delle tecnologie 4.0 la preparazione del suolo, la semina, la gestione dell'acqua e dei nutrienti, il diserbo, la raccolta e la cernita dei frutti, la somministrazione dei mangimi, la mungitura sono tutte operazioni che possono essere automatizzate.

Negli ultimi anni, si sta assistendo ad un aumento della domanda di macchine agricole autonome ad Intelligenza Artificiale, sia terrestri che aeree, per poter rispondere alla mancanza di manodopera nei campi e per poter consentire agli agricoltori di svolgere le proprie mansioni in modo più efficiente, rapido e preciso, migliorando la produttività.

I veicoli agricoli terrestri hanno una maggiore autonomia e riescono a operare anche in condizioni difficili, come la presenza di fango, pioggia, nebbia, basse o alte temperature. Un esempio importante della tecnologia dell'automazione sono i trattori a guida autonoma, che integrano il GPS con le reti RKT, ma anche con telecamere e sensori.

I droni, invece, sono sistemi aeromobili a pilotaggio remoto, che sfruttano la tecnologia GPS. Essi rappresentano un elemento integrante delle smart farm, perché possono avere vari impieghi all'interno delle aziende agricole. Ad esempio possono aumentare le rese delle colture agricole, monitorare lo stato di crescita delle colture, diminuendo il lavoro e le risorse necessarie per determinate attività (Lavalle, 2023).

Uno degli usi principali dei droni è quello dell'analisi del suolo e del terreno, in quanto possono essere utilizzati per creare mappe in 3D da utilizzare per effettuare rilievi pre-impianto oppure per creare mappe di prescrizione per ottimizzare la dose di concime per ogni zona di terreno, in

modo da evitare sprechi. Inoltre, i droni, mediante la registrazione dello sviluppo temporale di una coltura, consentono di monitorare il campo dal momento della semina a quello del raccolto. Un altro uso dei droni riguarda la fase di irrigazione, in quanto, grazie a particolari telecamere, forniscono informazioni sul fabbisogno idrico del terreno.

Negli ultimi anni, nell'agricoltura di precisione sta crescendo sempre più l'utilizzo di droni dotati di Intelligenza Artificiale, come ad esempio le flotte di micro-droni che impollinano i fiori. Inoltre, si stanno diffondendo anche i robot ad Intelligenza Artificiale per la raccolta della frutta, progettati per lavorare in collaborazione con gli uomini riducendo i costi del lavoro. Uno di questi robot è stato pensato per la raccolta delle mele ed alcuni di questi sono stati presentati nel corso del convegno "Interpoma Congress 2022 - I robot da raccolta" che ha riunito a Bolzano i principali produttori di robot per la raccolta delle mele a livello mondiale (Quadri, 2022). La raccolta del frutto è la fase più costosa per la coltivazione della mela e di numerosi altri frutti, essendo una fase ad oggi ancora poco meccanizzata. Il primo prototipo di braccio meccanico fu introdotto, in realtà, nel 1987, ma i limiti erano molti, e la sua efficacia era molto bassa. Oggi, invece, le tecnologie si sono molto evolute, come dimostra ad esempio l'Aigritec, start up italiana, che ha realizzato un robot per la raccolta delle mele, di piccole dimensioni ed equipaggiato da un solo braccio che può lavorare a diverse altezze (Figura 2). Grazie a una stereo camera e all'Intelligenza Artificiale il robot è in grado di riconoscere le mele che vengono prelevate da una pinza a tre denti. Il frutto, in questo modo viene bloccato e ruotato su se stesso per poter essere distaccato dalla pianta in circa sei secondi.



Figura 2 – Robot Aigritec per la raccolta delle mele

Fonte: Aigritec, 2021

Altri esempi di robot agricoli sono quelli utilizzati per la potatura degli alberi da frutto o delle viti, o robot agricoli intelligenti che riescono

a riconoscere una pianta malata e in grado di indirizzare il gettito di medicinali su di essa.

Da quanto esposto, ne consegue che l'impiego dei robot nell'agricoltura odierna e del futuro è molto prezioso, e non possiamo stupirci se il settore della robotica stia aumentando velocemente, specialmente se si pensa che nel 2050 la produzione agricola deve aumentare circa del 60% per poter sfamare il fabbisogno mondiale di oltre nove miliardi di persone, mantenendo una sostenibilità ambientale.

4 Conclusioni

L'era della robotica agricola è sempre più vicina. Nel 2022, secondo il World robotics report dell'IFR, erano oltre 8mila le unità attive a livello mondiale. L'impiego di intelligenza artificiale e robotica in agricoltura è al centro di un crescente interesse per le possibilità che potranno portare nel migliorare e nel rendere più sostenibile l'ambito agricolo. Già oggi il settore agricolo è tra le sei aree di applicazione più importanti per i robot di servizio professionali: nel mondo agricolo si contano ottomila unità, con una crescita registrata lo scorso anno del 6% rispetto al 2021 (IFR, 2022).

Nel futuro si prevede l'adozione sempre più diffusa di intelligenza artificiale e robotica in agricoltura mediante l'integrazione delle varie tecnologie con i sistemi agricoli attuali e con quelli in sviluppo, fra cui l'impiego di robot compatti che si muovono in flotta, sfruttando il concetto di swarm robotics (sciame di robots), di intelligenza di gruppo.

Bibliografia

- AIGRITEC (2021). *Automated harvesting*. <https://www.aigritec.com/service/automated-harvesting/>
- ATLAM, H.F., WALTERS, R.J., & WILLS, G.B. (2018). Fog computing and the Internet of Things: A review. *Big data and cognitive computing*, 2, 10. <https://doi.org/10.3390/bdcc2020010>
- BONOMI F., MILITO R., ZHU J., ADDEPALLI S. (2012). *Fog computing and its role in the internet of things*, MCC '12: Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing August 2012, Pages 13-16 <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2342509.2342513>
- CALCANTE, A., LAZZARI, M. & SARTORI, L. (2016) Sistemi di posizionamento globale e sistemi di guida delle macchine agricole, in Casa, R. (a cura di) *Agricoltura di Precisione. Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali*. Edagricole, pp. 164-169
- CASA, R., PIGNATTI, S., PASCUCCI, S., CASTALDI, F., & VINCINI, M. (2016). Il telerilevamento in agricoltura di precisione, in Casa, R. (a cura di), *Agricoltura di Precisione. Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali*, Edagricole, pp. 69-83
- DI GENNARO, S.F., MATESE, A., ROCHI, L., BERTON, A., & VAGNOLI, C. (2019). Il telerilevamento e l'agricoltura di precisione per la gestione del territorio e le per produzioni agricole di qualità. *Il telerilevamento e l'agricoltura di precisione per la gestione del territorio e le per produzioni agricole di qualità*, 57-64.
- EUROPEAN COMMISSION (2017). *Enabling precision farming across Europe through GNSS*. <https://cordis.europa.eu/article/id/202826-enabling-precision-farming-across-europe-through-gnss/it>
- GARAVAGLIA, R. (2018). *Tutto su Blockchain. Capire la tecnologia e le nuove opportunità* Hoepli
- IFR-INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS (2022), *World Robotics*, p.39 https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf
- KOVÁCS, I., HUSTI, I. (2018). *The role of digitalization in the agricultural 4.0 – how to connect the industry 4.0 to agriculture?*. Hungarian Agricultural Engineering. pp. 38-42
- LAVALLE, C. (2023). *Droni per agricoltura, i migliori prodotti oggi disponibili*. <https://www.ai4business.it/robotica/droni-per-agricoltura-i-migliori-prodotti-oggi-disponibili/>

- MATESE, A., DI GENNARO, S.F., NARDI, D., & POTENA, C. (2016). Piattaforme a controllo remoto e robotiche per il monitoraggio e la gestione delle colture, in Casa, R (a cura di) *Agricoltura di Precisione. Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali*. Edagricole. pp. 111-122
- MIPAAF- MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE ALIMENTARI E FORESTALI (2017). *Linee guida per lo sviluppo dell'agricoltura di precisione in Italia*. p.21 https://www.federicosigauda.com/admin/public/servizio_documento/6adad8767f56a14a2999e5044332fb43/files/Linee_Guida_Agricoltura_di_precisione.pdf
- OSSERVATORIO SMART AGRIFOOD (2022). *L'evoluzione nel tempo dei progetti Blockchain agrifood nel mondo*. <https://www.osservatori.net/it/prodotti/formato/podcast/applicazione-blockchain-settore-agroalimentare-concrete-opportunita-podcast>
- PESSINA D., FACCHINETTI D. (2021). La geolocalizzazione per la guida autonoma, in *Macchine agricole domani*. n. 11, pp.39-43
- PIERCE, F.J. & NOWAK, P.J. (1999). Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. Vol. 67: 1-85.
- PRIORI, S., DE BENEDETTO, D., STELLACCI, A.M., LOSCIALE, P., & MANFRINI, L.(2016) Sensori e metodi per rilievi prossimali delle proprietà del suolo e della coltura, in Casa, R.(a cura di) , *Agricoltura di precisione. Metodi e tecnologie per migliorare l'efficienza e la sostenibilità dei sistemi colturali*, Edagricole, pp. 130-140
- QUADRI, L., (2022) *Mele, le raccoglie il robot*, <https://agronotizie.imagelinenetwork.com/agrimeccanica/2022/12/01/le-mele-le-raccoglie-il-robot/77656>
- SABRY, F., (2021) *Robotica Agricola: In che modo i robot vengono in soccorso del nostro cibo?*. Vol. 1. One Billion Knowledgeable
- SISHODIA, R.P., RAY, R.L., & SINGH, S.K., (2020). Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote sensing*. 12(19), 3136; <https://doi.org/10.3390/rs12193136>
- VISCARRA R.A. & ADAMCHUK V.I. (2013). Proximal soil sensing, in Oliver M., Bishop T., Marchan B. (a cura di) *Precision Agriculture for Sustainability and Environmental Protection*, Edizione1, Capitolo 6, Earthscan, pp. 100-114
- XIONG, H., DALHAUS, T., WANG, P., & HUANG, J. (2020), "Blockchain Technology for Agriculture: Applications and Rationale," *Frontiers Blockchain*, Vol. 3, n. 7, pp. 1-7
- ZAMBON, I., CECCHINI, M., EGIDI, G., SAPORITO, M.G., & COLANTONI, A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs. *Processes* Vol.7, n.1, p.36. <https://doi.org/10.3390/pr7010036>

Dall'Agricoltura 4.0 all'Agricoltura 5.0: principali progetti di ricerca italiani

Angela Carelli

Università di Cassino e del Lazio Meridionale

Ilenia Bravo

Università di Cassino e del Lazio Meridionale

Patrizia Papetti

Università di Cassino e del Lazio Meridionale

ABSTRACT

Secondo i dati Annuario dell'Agricoltura italiana 2021, CREA-ISTAT, la quota del settore agroalimentare sul totale economia è passata dal 4% del 2021 al 3,8% del 2022: il settore primario ha contribuito per il 2,2% (come nel 2021) e l'industria alimentare per l'1,6% (1,8% nel 2021). Il sistema ha raggiunto un peso del 15% del Pil italiano, in virtù sia delle buone performance dell'agricoltura (+6,4%) che dell'industria alimentare (+7,6%). Importante il contributo dell'agricoltura alla bioeconomia (+11% circa rispetto al 2020), di cui il primario e l'industria alimentare rappresentano quasi il 60% della produzione e il 69% di occupati (69%). Per il futuro, la spinta verso uno sviluppo sostenibile all'altezza delle sfide del mercato globale sarà rappresentata dall'evoluzione dell'Agricoltura 4.0 all'Agricoltura 5.0, fondata sulle tecnologie digitali innovative, fra cui robotica ed intelligenza artificiale (IA) hanno un ruolo fondamentale. Scopo del presente articolo è lo studio dei principali progetti di ricerca in corso in Italia su questa tematica. In primo luogo si è analizzata l'evoluzione della smart agriculture, con riferimento al trend di mercato mondiale, europeo ed italiano. In secondo luogo, sono state individuate le politiche per l'innovazione tecnologica, quali la nuova PAC 2023-2027 ed il PNRR 2021-2023, che hanno incentivato lo sviluppo delle nuove tecnologie nel settore primario. Infine, sono stati esaminati i principali progetti di ricerca in corso in Italia su questi temi.

PAROLE CHIAVE: Smart agriculture, Trend di mercato, Politiche per l'innovazione tecnologica, Robotica, Intelligenza Artificiale, Progetti di ricerca italiani

1 Introduzione

Nel 2021, la filiera agroalimentare, con un fatturato di oltre 549 miliardi di euro, ha assunto un ruolo fondamentale nell'economia italiana

contribuendo al 15% del fatturato globale dell'economia nazionale (CREA, 2022): il fatturato complessivo è cresciuto in relazione sia all'incremento registrato sia nell'agricoltura (+6,4%) che nell'industria alimentare (+7,6%). In ambito europeo, l'Italia agricola cresce, ma meno di altri Paesi e perde la leadership del valore aggiunto, La Francia con il 18 % del valore della produzione continua ad avere il primato di principale produttore agricolo europeo, con circa 81 miliardi di euro, seguita dall'Italia, che ha migliorato la propria posizione con 61 miliardi e una variazione positiva del 5,8%, la Germania e la Spagna con 59 miliardi e 56 miliardi rispettivamente. Questi quattro Paesi coprono il 58% della produzione totale dell'UE. Dal punto di vista ambientale, le emissioni agricole aumentano del +4,2% rispetto al 2019 e rappresentano l'8,6% del totale delle emissioni nazionali. Nel lungo periodo (1990-2020), si è registrata una diminuzione delle emissioni del settore superiore all'11%. Nel 2021, si segnala un aumento sia del numero degli impianti di biogas sia dei metri cubi prodotti di biogas e biometano in Italia: circa 2 miliardi di standard metri cubi di biometano e oltre 40 milioni di tonnellate di biomasse agricole. La produzione di energia da fonti rinnovabili fa segnare una crescita del 200% delle aziende in dieci anni.

Con un valore di poco superiore ai 12 miliardi di euro (+10,8% rispetto al 2020), aumentano anche i fondi pubblici a sostegno dell'agricoltura, coperti per il 67% da fondi UE, per il 19% da fondi nazionali e per il restante 14% da fondi regionali. Importante il contributo dell'agricoltura alla bioeconomia (+11% circa rispetto al 2020), di cui il primario e l'industria alimentare rappresentano quasi il 60% della produzione e il 69% di occupati (69%).

Per il futuro, la spinta verso uno sviluppo sostenibile all'altezza delle sfide del mercato globale sarà rappresentata dall'evoluzione dell'Agricoltura 4.0 all'Agricoltura 5.0, fondata sulle tecnologie digitali innovative, fra cui robotica ed intelligenza artificiale hanno un ruolo fondamentale.

Scopo del presente articolo è lo studio dei principali progetti di ricerca in corso in Italia su questa tematica.

2 Le tecnologie abilitanti della smart agriculture

La quarta rivoluzione industriale si differenzia dalle precedenti in quanto le tecnologie oltre ad essere più avanzate sono di natura intelligente in termini di raccolta e analisi dei dati, di apprendimento automatico e di comunicazione di rete. Esse permettono quindi ai robot di diventare sempre più automatici e intelligenti. Le principali tecnologie abilitanti sono (MISE, 2017):

1. Sistemi avanzati di produzione: robotica collaborativa, ovvero quella tipologia di robotica che permette all'uomo di condividere

- con il robot uno spazio di lavoro efficiente e sicuro grazie all'utilizzo dell'intelligenza artificiale.
2. **Manifattura additiva:** insieme di processi di fabbricazione che consentono di realizzare oggetti tridimensionali a partire da un modello digitale.
 3. **Realtà aumentata:** tecnologia che si basa sulla possibilità di aggiungere informazioni e dimensioni alla realtà, mediante l'utilizzo di visori a realtà aumentata, i quali permettono all'utente di vedere e di muoversi nello spazio fisico percependo stimoli amplificati rispetto alla realtà.
 4. **Simulazione:** tecnologia che avviene tra macchine interconnesse tra loro per poter ottimizzare i processi. La simulazione avviene grazie alla creazione di un prototipo virtuale e mira a modellizzare un processo o un prodotto per ottenere informazioni utili da utilizzare in relazione con i dati raccolti.
 5. **Integrazione orizzontale e verticale:** modalità che permette di adottare tecnologie interconnesse, le quali permettono di analizzare i big data e di poter digitalizzare e integrare tutta la catena del valore in modo da creare un flusso di dati automatizzato efficiente ed efficace.
 6. **Internet delle cose (IoT) :** insieme degli oggetti che riescono a trasmettere attraverso Internet informazioni sul proprio stato o sull'ambiente esterno. Quindi, consiste nell'interoperabilità dei dispositivi attraverso Internet, permettendo uno scambio e un'interazione permanente e fluida tra le diverse macchine, grazie all'utilizzo di sensori collocati sui robot con di un indirizzo IP.
 7. **Cloud computing:** infrastruttura comune e flessibile per condividere dati, informazioni e applicazioni attraverso le tecnologie web.
 8. **Cyber security:** la sicurezza che si ha durante le operazioni in rete o sui sistemi aperti. Questo tema è molto rilevante perché ci sono molti dati ed elementi da proteggere, infatti l'industria 4.0 se da un lato richiede una progressiva apertura verso il mondo esterno per poter integrare le informazioni tra i diversi sistemi, dall'altro, le fabbriche devono proteggersi da eventuali attacchi hacker e dagli usi impropri che si potrebbero fare con tali informazioni.
 9. **Big data and Analytics.** I big data and Analytics vanno ad indicare grandi quantità di dati generati in grande velocità e frequenza. Questa mole di dati supera i limiti dei tradizionali database ed ha l'obiettivo di poter estrarre altre informazioni che non sono ottenibili dall'analisi delle piccole serie di dati tradizionali.

3 Trend di mercato dell'agricoltura 4.0

I dati del mercato dell'agricoltura 4.0, non venendo inclusi nelle statistiche ufficiali dei diversi Paesi, sono lacunosi e scarsi. Inoltre, sussiste anche la difficoltà di reperimento di informazioni commerciali dai produttori e dai rivenditori del settore, in quanto poche informazioni vengono condivise dai rivenditori multinazionali a causa sia della riservatezza che della grande eterogeneità di casi riscontrati in Europa (JRC of the European Commission, 2014). Nel 2018, il mercato mondiale è stato stimato intorno ai 7 miliardi di dollari (il doppio rispetto al 2017), il 30% dei quali attribuibili all'Europa. Di questi, circa 400 milioni di euro sono stati generati in Italia, con una crescita del mercato nazionale di circa il 300% rispetto all'anno precedente (Renga et al.). Nel 2022, il mercato mondiale dell'agricoltura 4.0 ha continuato a crescere con un tasso superiore al 10% e si stima che raggiungerà un valore di circa 30 miliardi di euro entro il 2027 (Osservatorio Smart Agrifood, 2023). La dimensione del mercato europeo dell'agricoltura di precisione è invece stimata a 2,57 miliardi di dollari nel 2023 e dovrebbe raggiungere i 5,23 miliardi di dollari entro il 2028, crescendo a un CAGR (Compounded Average Growth Rate) del 15,30% durante il periodo 2023-2028 (Mordor Intelligence, 2023). Il crescente utilizzo dell'IoT nel settore agricolo in Europa, l'attenzione alla sostenibilità e alla sicurezza alimentare e la crescente carenza di manodopera sono alcuni dei principali fattori che guidano il mercato dell'agricoltura di precisione in Europa. In Italia, nel 2022, il mercato dell'Agricoltura 4.0 è cresciuto del 31% rispetto al 2021, toccando, la quota di 2,1 miliardi di euro (Tabella 1).

Anno	Valore MLN €	Variazione percentuale rispetto all'anno precedente
2017	100	
2018	370	+270%
2019	450	+22%
2020	1.300	+189%
2021	1.600	+23%
2022	*2.100	+31%
*stima a preventivo		

Tabella 1 – Mercato italiano dell'agricoltura 4.0

Fonte: Osservatorio Smart Agrifood, 2023

Il 35% del totale è rappresentato dai sistemi di monitoraggio e controllo di mezzi e attrezzature, seguito con il 30% dai macchinari connessi (-17%) e dal 20% dai sistemi di monitoraggio da remoto di coltivazioni, terreni e infrastrutture. Al 6% ci sono i software gestionali aziendali, al 4% i sistemi di mappatura di coltivazioni e terreni e al 3% i Sistemi di Supporto alle Decisioni (Dss).

La contrazione dei macchinari connessi è diretta conseguenza del periodo di incentivi per l'agricoltura 4.0 che avevano sostenuto fortemente il mercato negli anni passati e che ora sono stati ridimensionati.

I sistemi di monitoraggio continuano a catalizzare l'interesse delle aziende agricole. Le tecnologie abilitanti riguardano principalmente Data & Analytics (75%), seguite da Internet of Things (61%) e più in giù dalle piattaforme software (59%) e dai device di ultima generazione (46%).

Raccogliere, memorizzare e analizzare i dati è dunque un aspetto fondamentale del paradigma 4.0: più della metà delle aziende agricole implementa più di una soluzione tecnologica 4.0, permettendo di soddisfare più fabbisogni dell'azienda.

Tra i fabbisogni maggiormente soddisfatti dalle soluzioni di agricoltura 4.0, secondo le aziende agricole utilizzatrici, spiccano quelli legati all'efficienza con la riduzione dell'impiego dei principali input produttivi. Il 63% vuole ottimizzare l'uso degli input tecnici, il 51% specificatamente l'acqua, mentre il 38% il lavoro degli operai e il 37% il parco macchine.

Oltre i software gestionali aziendali (58%), ai primi posti tra le soluzioni più utilizzate si trovano quelle basate su QR Code (56%), su "tecnologia mobile" come ad esempio le app per tablet e smartphone per il monitoraggio del percorso dei mezzi, per il controllo della catena del freddo e per il controllo della qualità dei prodotti finali (45%); inoltre, al fine di intercettare in tempo reale possibili anomalie sui processi produttivi le aziende agricole hanno utilizzato soluzioni software come ERP e MES (37%).

Tra le soluzioni di automazione avanzata tra i filari e in campo aperto le imprese hanno investito per il 34% su robot e cobot.

Secondo l'Osservatorio Smart Agrifood (2023) circa l'88% delle aziende hanno apportato percorsi innovativi nell'ambito della tracciabilità alimentare, della produzione, della logistica e del controllo della qualità (sia della materia prima che del prodotto finito) con l'utilizzo di software gestionali integrati (56%), con l'impiego di "mobile solution" di droni (26%) e di cloud (21%).

Sulla base delle aziende intervistate, il 71% di esse adottano almeno una tecnologia 4.0, e in media vengono utilizzate 3,2 soluzioni per aziende, con un incremento del 21% rispetto al 2021. Le tecnologie 4.0 risultano essere molto diffuse anche nelle aziende zootecniche: il 27% di esse utilizza

sistemi digitali di gestione dei mangimi, e il 24% adotta i robot di mungitura automatica.

Un ostacolo alla diffusione delle tecnologie 4.0 è l'interoperabilità tra le soluzioni tecnologiche adottate, mentre l'incentivo più significativo per l'adozione di tali tecnologie è rappresentato dagli aiuti pubblici: l'88% delle imprese ha usufruito almeno di un incentivo pubblico.

4 Le principali politiche per l'innovazione tecnologica in agricoltura

4.1 Politica agricola comune 2023-2027 e l'innovazione

Il contesto internazionale in cui opera la PAC è sempre più caratterizzato dal soddisfacimento della crescente domanda di cibo, mangimi e materie prime, in presenza di un uso sostenibile delle risorse naturali e dell'ambiente (JRC, 2014). La nuova PAC si concentra su dieci obiettivi specifici, collegati agli obiettivi comuni dell'UE in materia di sostenibilità sociale, ambientale ed economica nell'agricoltura e nelle zone rurali, considerando innovazione e sostenibilità elementi a sostegno di qualsiasi altro intervento (Commissione Europea, 2023a). I suddetti obiettivi della PAC nei diversi paesi UE sono inquadrati dai rispettivi Piani strategici, che incoraggiano la transizione verso un settore agricolo intelligente, sostenibile, competitivo, resiliente e diversificato, garantendo nel contempo la sicurezza alimentare a lungo termine. Per rispondere a tali sfide, l'Italia ha intrapreso un percorso volto a rendere le politiche agricole, alimentari e forestali orientate e integrate tra loro, in modo da interpretare in chiave innovativa, ecologica e inclusiva le principali misure adottate, in sinergia con le altre politiche e strumenti esistenti (Rete Rurale Naturale, 2023).

I finanziamenti assegnati alla nuova PAC sono 387 miliardi di euro, i quali provengono essenzialmente da due fondi: il FEAG (Fondo europeo agricolo di garanzia) che, con un ammontare di 291,1 miliardi di euro, finanzia principalmente il sostegno al reddito degli agricoltori e misure di mercato e il FEASR (Fondo europeo agricolo per lo sviluppo rurale) che finanzia il contributo della PAC agli obiettivi di sviluppo rurale dell'UE con 95,5 miliardi di euro. In quest'ultimo sono compresi anche 8 miliardi di euro provenienti dal Next Generation EU per aiutare le zone rurali a conseguire gli obiettivi del Green Deal europeo e della transizione digitale (Commissione Europea, 2022). È evidente quindi come la Commissione europea ad innovazione e sostenibilità abbia appositamente dedicato diversi strumenti operativi e finanziari, come emerge per esempio dalle priorità del FEASR, i cui finanziamenti sono attuati attraverso i programmi di sviluppo rurale (PSR). Ciascun PSR deve essere finalizzato a realizzare almeno quattro delle sei seguenti priorità (Commissione Europea, 2023b):

1. promuovere il trasferimento di conoscenze e l'innovazione nel settore agricolo e forestale e nelle zone rurali;
2. potenziare la redditività e la competitività di tutti i tipi di agricoltura e promuovere tecnologie agricole innovative e la gestione sostenibile delle foreste;
3. favorire l'organizzazione della filiera alimentare, il benessere degli animali e la gestione dei rischi nel settore agricolo;
4. incoraggiare l'uso efficiente delle risorse e il passaggio a un'economia a basse emissioni di CO₂ e resiliente ai cambiamenti climatici nel settore agroalimentare e forestale;
5. preservare, ripristinare e valorizzare gli ecosistemi connessi all'agricoltura e alle foreste;
6. promuovere l'inclusione sociale, la riduzione della povertà e lo sviluppo economico nelle zone rurali.

Ne consegue che, anche nella nuova PAC come nella precedente, la prima, la seconda, la quarta e la quinta delle suddette priorità sono connesse all'agricoltura 4.0, in quanto anello di congiunzione di innovazione e sostenibilità in agricoltura (MIPAAF, 2017).

4.2 Il piano nazionale di ripresa e resilienza 2021-2023 e altri interventi

In Italia, il 30 aprile 2021, il Governo ha presentato alla Commissione europea, il PNRR (Governo Italiano, 2021). I fondi del PNRR provengono dal programma europeo Next Generation EU. Il PNRR è suddiviso in sei missioni e sedici componenti, che riguardano tre assi strategici: la digitalizzazione e l'innovazione, la transizione ecologica e l'inclusione sociale. Tra i principali obiettivi del PNRR c'è la modernizzazione del settore agricolo attraverso la trasformazione digitale, oltre quello di aiutare gli agricoltori italiani a perseguire una strategia che tende a ridurre i pesticidi chimici, i fertilizzanti e gli antimicrobici, con un aumento della superficie destinata all'agricoltura biologica. Al settore agricolo sono destinati 3,68 miliardi di euro, ripartiti come segue (MASAF, 2023):

- 800 milioni per migliorare la logistica,
- 500 milioni per modernizzare i mezzi e le macchine agricole,
- 1,5 miliardi per sviluppare progetti per l'agrisolare,
- 880 milioni per i sistemi di irrigazione.

Il piano prevede lo stanziamento di somme di denaro per l'ammmodernamento dei macchinari agricoli e per l'introduzione di tecniche di agricoltura di precisione, in modo da ridurre l'utilizzo di pesticidi, o risparmiare l'acqua e irrigare i campi solo se necessario, nonché sostituire i mezzi agricoli più datati. Di conseguenza sono previsti agevolazioni anche per l'introduzione di tecnologie 4.0 come l'Internet of Things, i sensori, la blockchain

e tutte le iniziative per assicurare la tracciabilità dei prodotti. Per perseguire gli obiettivi del PNRR è stato redatto anche il Piano Transizione 4.0, che prevede crediti di imposta per le imprese che investono in beni capitali e contributi per investimenti ad alto apporto tecnologico pari al 40% della spesa sostenuta (MIMIT, 2023a).

In aggiunta a questi interventi, è stata emanata la misura Beni strumentali (“Nuova Sabatini”) (MIMIT, 2023b), l’agevolazione messa a disposizione dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy con l’obiettivo di facilitare l’accesso al credito delle imprese e accrescere la competitività del sistema produttivo del Paese, sostenendo gli investimenti per acquistare o acquisire in leasing macchinari, attrezzature, impianti, beni strumentali ad uso produttivo e hardware, nonché software e tecnologie digitali. Infine, con la Legge di Bilancio 2023 è stato istituito il “Fondo per l’innovazione in agricoltura 2023”, il quale prevede lo stanziamento di 75 milioni di euro per ciascuno degli anni 2023, 2024, 2025 (IPSOA, 2022). Questo fondo ha l’obiettivo di favorire lo sviluppo di progetti innovativi in modo da incrementare la produttività nei settori dell’agricoltura grazie alla diffusione delle tecnologie per la gestione digitale delle imprese, per l’utilizzo di macchine, di soluzioni robotiche, soluzioni sensoristiche, ma anche infrastrutture 4.0 per il risparmio delle acque.

5 Ruolo dell’ IA e robotica nell’evoluzione dell’agricoltura

La trasformazione ed evoluzione del settore primario è sempre più legata all’utilizzo della robotica autonoma e dell’intelligenza artificiale, in quanto tecnologie utili a migliorare la produttività in termini di resa e la sostenibilità dei processi di coltivazione con la minimizzazione dell’utilizzo di sostanze chimiche (fertilizzanti, erbicidi e pesticidi). Secondo la International Federation of Robotics nel 2022 il settore primario è tra le sei aree di applicazione più importanti per i robot di servizio professionali: nel mondo agricolo si contano ottomila unità, con una crescita registrata lo scorso anno del 6% rispetto al 2021 (IFR, 2022). Non a caso il Giappone, produttore numero uno di robot industriali al mondo, ha individuato nel settore primario uno dei settori fondamentali della sua New Robot Strategy, con uno stanziamento di 66,2 milioni di dollari su uno stanziamento totale di 930,5 milioni di dollari (IFR, 2023). I robot agricoli di nuova generazione hanno disparati impieghi nelle diverse fasi della produzione agricola (lavorazione del terreno, semina, raccolta). Lo sviluppo di metodi di intelligenza artificiale che permettono di automatizzare processi complessi guida la diffusione di questi robot. I vantaggi ad essa connessi: riduzione di manodopera, efficienza, riduzione dei tempi, massima precisione nella procedura.

6 Robotica ed IA in agricoltura: principali progetti di ricerca in Italia

6.1 Progetto Pantheon

Pantheon è l'acronimo di "Precision Farming of Hazelnut Orchards", ossia "Coltivazione di precisione dei nocioleti" (Università di Roma Tre, 2017). Questo progetto è stato avviato il 1° novembre 2017 e ha previsto una durata di quattro anni, infatti è terminato 31 ottobre 2021. Il progetto è stato coordinato dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Roma Tre, con la partecipazione dell'Università della Tuscia, dell'Université Libre de Bruxelles e dell'Universität Trier tedesca, oltre a due partner industriali ovvero la Ferrero Trading Lux S.A. e Sigma Consulting S.r.l.. Il progetto di ricerca è stato finanziato per oltre 3 milioni di euro con il programma Horizon 2020 (Commissione Europea, 2021). L'obiettivo di questo progetto è stato la realizzazione di un sistema integrato di controllo di supervisione e acquisizione dati (SCADA-Supervisory Control And Data Acquisition) per l'agricoltura di precisione dei frutteti. È stato progettato un sistema integrato in cui si fa ricorso a flotte limitate di droni e a trattori autonomi che muovendosi all'interno del frutteto raccolgono le informazioni ed eseguono le tipiche operazioni agricole. I dati raccolti vengono poi inviati a un sistema centrale, dove un algoritmo elabora i dati e valuta in maniera automatica lo stato di salute di ogni pianta e l'eventuale presenza di problemi, emettendo quindi, un feedback automatico (Figura 1).

In sintesi, l'idea alla base di questo progetto è la realizzazione di un sistema robotico per monitorare lo stato fitosanitario di ogni pianta presente all'interno del nocioleto per poter effettuare interventi mirati, avendo così una gestione più ecologica del frutto e una resa maggiore (Giustarini et al., 2020).

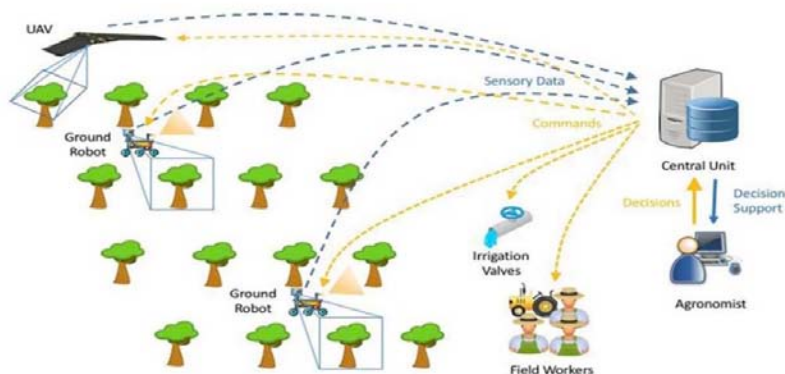


Figura 1 – Pantheon: Layout del sistema SCADA

Fonte: Cristofori et al., 2018

Gli obiettivi perseguiti dal progetto sono anche quelli di:

- avere dei noccioleti più sani e produttivi riducendo al minimo l'uso di sostanze chimiche;
- utilizzare l'acqua in modo più responsabile e rispettoso per l'ambiente;
- poter applicare dei protocolli di potatura avanzata che suggeriscono i tagli da dover effettuare a seconda del sistema di formazione della pianta prescelto;
- gestire in modo più semplice i frutteti.

Nello specifico, per poter sviluppare il progetto, il team si è avvalso di:

- un limitato numero di droni, e robot di terra.
- una stazione agrometeorologica basata su IoT, che ha permesso il monitoraggio ambientale,
- un'unità operativa centrale integrata per raccogliere i dati per poter eseguire feedback automatici e per sostenere le decisioni degli agronomi.

Il veicolo terrestre autonomo molto importante nello sviluppo del progetto è stato il robot Sherpa HL R-A, dotato di un ricevitore GNSS con funzionalità GPS-RKT, che gli consente di muoversi tra i filari dei noccioleti, su terreno irregolare senza nessuna collisione grazie alla pianificazione della traiettoria, comunicata tramite wi-fi (Carpio, 2020).

6.2 Progetto Vinum

In Italia, la viticoltura ha un impatto economico molto rilevante: l'industria vinicola si è confermata anche quest'anno al primo posto nella filiera agroalimentare italiana (Osservatorio Wine Monitor, 2023). Per questo motivo, i robot sono molto importanti e possono fornire soluzioni automatizzate che vanno a combinare la visione robotica intelligente e la manipolazione. A riguardo, in Italia, si stanno diffondendo molti progetti legati alla vite. Uno tra questi è il progetto Vinum, finanziato dalla Commissione europea con il programma Horizon 2020, che vede il coinvolgimento dell'Istituto Italiano di Tecnologia e l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza, e nasce nel 2018 e dovrebbe terminare nel corso del 2023 (Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza e Istituto Italiano di Tecnologia, 2018).

Obiettivo ultimo del progetto è realizzare un robot in grado di potare la vite in diverse condizioni, anche meteorologiche sfavorevoli, ed avere un lavoro di alta qualità, permettendo peraltro di risparmiare sulla manodopera invernale, con una diminuzione della domanda di manodopera annuale di circa il 20-35%. Dal lavoro del robot dipende inoltre la produttività futura della vigna, mediante l'esatta individuazione dei punti di potatura (Teng et al., 2021). Trattasi di un robot quadrupede di potatura,

denominato HyQReal (Figura 2) in grado di lavorare su superfici sconnesse, con elevati livelli di potatura: è una macchina, che, al contrario dei robot cingolati, è dotata di molta più stabilità e che riesce a muoversi anche in ambienti con forti pendenze (Semini et al., 2019; Milburn et al., 2023).



Figura 2 – HyQReal quadruped robot

Fonte: Milburn et al., 2023

La piattaforma robotica è dotata anche di un braccio robotico collaborativo, provvisto di una forbice elettrica e integrato con un sistema di rilevamento multimodale per la scansione del vitigno e per l'identificazione dei punti di potatura. Questo braccio robotico, attraverso l', e quindi grazie a una rete neurale addestrata, è in grado di distinguere i diversi organi della vite in modo da poter identificare i punti di taglio in corrispondenza dei quali eseguirà la potatura (Fernandes et al., 2021). Il prototipo realizzato dal team e presentato a Genova nel 2019 è dotato di un sistema di visione capace di estrarre una rappresentazione schematica della pianta, in modo da poter identificare le principali componenti della vite e successivamente i punti e le strategie di taglio. Il punto di taglio, in questo modo viene deciso sulla base di una serie di algoritmi trasferiti alla pianta tramite un processo di deep learning.

Il progetto Vinum, dal 2019, è stato affiancato dal progetto Prinbot (Università Cattolica, 2019), finanziato con il bando PRIN 2017 per un ammontare di poco più di 432 mila euro. Il progetto studia il controllo dei robot per rendere più stabili e precise le operazioni di potatura, tendendo a migliorare i sistemi di elaborazione percettiva. Si tratta, quindi, di due ricerche complementari tra loro che prevedono l'interazione tra diverse scienze: la robotica, l'intelligenza artificiale e la viticoltura e finalizzati alla progettazione di un robot per la potatura corta invernale.

6.3 Progetto Flourish

Il progetto Flourish è stato avviato nel marzo 2015 e concluso nell'agosto 2018 (Flourish Consortium, 2018a), con un costo totale di circa 4,8 milioni di euro, finanziato per 3,5 milioni di euro dal programma Horizon 2020 ed il restante dalla regione Marche grazie ai Piani di Sviluppo Rurale (Commissione Europea, 2018). Il coordinatore del progetto è stato l'ETH di Zurigo ed ha coinvolto sette partner di quattro paesi europei, l'Università di Bonn, l'Università di Freiburg, l'Università Sapienza di Roma, il gruppo Bosch, il CNRS, l'ASSAM (Agenzia servizi settore agroalimentare delle Marche). L'obiettivo del progetto è stato quello di sviluppare un sistema robotico dotato di autonomia operativa per l'agricoltura di precisione, che si potesse adattare a diverse colture e attività agronomiche ed in grado di localizzare le sezioni del campo con infestazioni e indirizzare i trattamenti solo a quelle determinate aree (Figura 3).

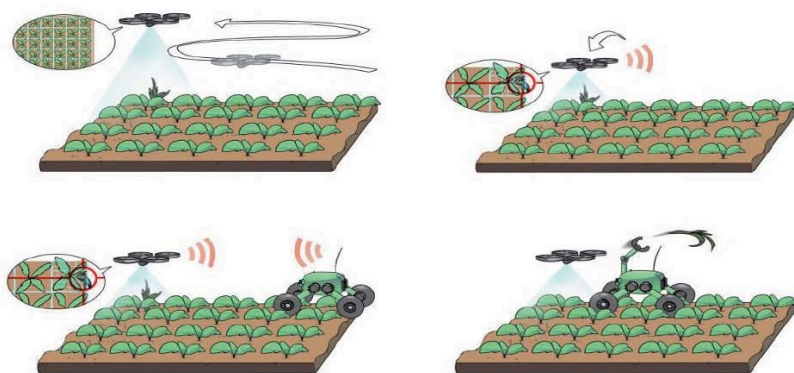


Figura 3 – Sequenza tipica di intervento in collaborazione

Fonte: Potena et al., 2016

È stato sviluppato, infatti, un sistema robotico flessibile dotato di tecnologie robotiche avanzate ed intelligenza artificiale, che è in grado di monitorare costantemente le colture, intervenire sul campo e analizzare i dati raccolti (Potena et al., 2016).

Questo sistema, anche se sperimentato in campi di barbabietole da zucchero e di girasoli, si può adattare a qualunque tipologia di attività agronomica grazie all'uso di sensori e di metodi di analisi e interpretazione dei dati.

Esso prevede l'utilizzo di (Flourish Consortium, 2018b):

- UAV (Unmanned Aerial Vehicle), cioè un drone per il monitoraggio aereo;
- UGV (Unmanned Ground Vehicle), ovvero un veicolo di terra multiuso e autonomo;
- un server.

Questo sistema robotico permette di:

- combinare la ricognizione aerea per mezzo dell'UAV, con la ricognizione terrestre effettuata per mezzo dell'UGV;
- fornire informazioni dettagliate a supporto della gestione agronomica,
- richiedere un intervento minimo dell'uomo nel momento del bisogno.

L'UAV è un veicolo aereo equipaggiato da una telecamera, da vari sensori, da GPS e da un software per l'analisi. Esso è in grado di programmare il percorso di volo ottimale della missione, ma anche di evitare le zone aeree interdette e di ritornare al punto di atterraggio a fine missione. Il compito dell'UAV è quello di raccogliere i dati, le immagini e di creare mappe sulla base dei dati acquisiti. L'UAV è in grado anche di identificare le aree della coltura ad alta probabilità di presenza di infestanti che necessitano quindi di un intervento da parte del sistema.

Il monitoraggio della sua batteria, è un compito affidato all'UAV stesso, infatti se il livello di carica scende sotto i livelli critici, l'UAV vola fino alla piattaforma di atterraggio per ricaricarsi, mentre se la piattaforma non si trova in campo, l'UAV ritorna al punto di partenza della missione per essere ricaricato manualmente da un operatore. Dopo il completamento della ricarica, l'UAV procede a completare la missione nel punto in cui è stata interrotta.

Uno dei ruoli principali assolti dall'UGV è quello di piattaforma mobile di atterraggio e ricarica per l'UAV. Inoltre, l'UGV è in grado di determinare il percorso ottimale da seguire per il trattamento in campo ed esegue autonomamente le missioni definite in campo dal sistema, modulando la propria velocità in base alla presenza di aree critiche.

L'UGV espleta la propria missione senza danneggiare le colture in quanto è in grado di rilevare gli ostacoli sul suo percorso. Anche l'UGV è in grado di creare mappe sulla base dei dati acquisiti, e riesce a distinguere le piante infestanti da quelle coltivate.

I dati raccolti sono inviati ad un server o ad un dispositivo dell'agricoltore qualora egli voglia supervisionare ed approvare le richieste dell'UGV. Sulla base delle mappe prodotte, il sistema formula delle raccomandazioni agronomiche e determina la necessità di intervento in campo e programma, di conseguenza, le missioni che dovrà svolgere l'UGV. Queste raccomandazioni, quindi vengono restituite all'UGV in modo che esso possa adem-

piere ai vari compiti programmati. L'UGV si crea autonomamente il percorso ed esegue gli interventi stabiliti. Grazie al riconoscimento delle immagini l'UGV differenzia più facilmente le piante dagli infestanti, e ciò avviene grazie all'analisi dei colori, della forma e della dimensione della pianta.

Questo progetto permette agli agricoltori di ridurre al minimo l'utilizzo di sostanze chimiche e di produrre colture più sane e raccolti più produttivi (Walter et al., 2018), riducendo i costi per gli agricoltori e l'impatto ambientale delle coltivazioni.

6.4 Progetto Saga

“Swarm Robotics for agricultural applications”, ovvero sciame di droni per le applicazioni agricole: è questa la tematica del progetto SAGA.

Il progetto Saga ha l'obiettivo di studiare metodi di robotica per monitorare le colture e dare un supporto all'agricoltura di precisione.

Questa ricerca è finanziata dal progetto europeo ECORD++ ed è iniziato nel 2016 con la partecipazione dei seguenti soggetti (SAGA Consortium, 2016): Istituto di Scienze Cognitive (ISTC) del Centro Nazionale Ricerche (CNR), il quale ha svolto anche il ruolo di coordinatore delle attività, Wageningen University and Research Centre (WUR), Avular B.V., un'azienda specializzata in soluzioni UAV per applicazioni agricole e industriali.

Il progetto ha l'obiettivo di dimostrare quanto la robotica degli sciame nell'agricoltura di precisione sia estremamente importante.

Il progetto, finanziato dal programma EU ECHORD++ (<http://echord.eu>), ha prodotto un gruppo di droni programmati per osservare un campo coltivato e rilevare con precisione la presenza di piante infestanti attraverso algoritmi di visione artificiale.

Esso prende ispirazione dal comportamento degli insetti, e per questo vengono utilizzati un insieme di piccoli droni, ognuno dei quali è dotato di telecamera e di sistemi di elaborazione di immagini: i droni sono in grado di comunicare tra loro in modo da aggregarsi e mappare le aree con maggior presenza di infestanti.

In questo modo, gli interventi per la rimozione e il contenimento di infestanti possono essere limitati alle aree più problematiche, con un conseguente risparmio di risorse e aumento della produzione (Albani et al., 2017).

Il progetto, quindi, prevede che un campo sia pattugliato da un gruppo di UAV. Naturalmente il campo è virtualmente diviso in celle, che possono essere monitorate da un singolo UAV alla volta.

L'approccio collaborativo UAV-WSN-IoT aumenta le prestazioni sia nell'agricoltura di precisione che nell'agricoltura ecologica, progettando

le traiettorie degli UAV per una raccolta dati efficiente e implementando efficaci algoritmi di elaborazione dei dati (approssimazione simbolica aggregata) a livello di rete per la trasmissione dei dati (Figura 4).



Figura 4 – Il concetto del veicolo aereo senza pilota integrato (UAV) – rete di sensori wireless (WSN) – sistema Internet of Things (IoT)

Fonte: Popescu et al., 2020

L'UAV è stato sviluppato dall'azienda Avular B.V., ed è un quadricottero a quattro motori, triplo pilota e dotato di RTK-GPS. Nella sua dotazione ha anche dei dispositivi di autolocalizzazione e un sistema di visione di bordo che va ad eseguire i rilevamenti di oggetti e individua le erbe infestanti contandole.

6.5 Progetto Smash

Il progetto SMASH (Smart Machines for Agricultural Solutions High-Tech - Macchine intelligenti per soluzioni agricole di alta tecnologia) ha l'obiettivo di realizzare un ecosistema robotico collaborativo, modulare ed integrato per il monitoraggio e la gestione sostenibile delle colture agrarie, nell'ottica dell'applicazione dell'Agricoltura di Precisione. Questo progetto della durata di due anni, è iniziato nel marzo 2018 per terminare nel marzo 2020, ed è stato cofinanziato dalla regione Toscana mediante il programma operativo regionale (POR) del Fondo Europeo di Sviluppo regionale (FESR) 2014-2020 e dal programma europeo Horizon 2020. Tra i principali partecipanti alla ricerca: EDI progetti e sviluppo srl in qualità di coordinatore, Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, Università di Firenze e Istituto Italiano di Tecnologia. L'obiettivo del progetto Smash è quello di creare un ecosistema robotico collaborativo per poter realizzare una gestione

sostenibile delle coltivazioni e di creare un sistema gestionale per l'agricoltura di precisione (Sarri et al.,2021).

L'ecosistema robotico collaborativo è composto da (Figura 5):

1. un robot mobile autonomo, detto Agrobot, il quale può essere sia controllato che programmato da remoto (Sarri et al., 2020). L'Agrobot è in grado di monitorare lo stato delle colture e di identificare eventuali malattie, controllando anche le piante infestanti ed effettuare trattamenti localizzati con prodotti e dosaggi eco-sostenibili. L'attività svolta dall'Agrobot viene pianificata mediante un'interfaccia web, e la sua missione inizia dalla stazione base chiamata "Ancillarybot" per procedere lungo il percorso stabilito dall'agricoltore;
2. un Flybot, cioè un drone, che ha il compito di raccogliere le informazioni sull'area di interesse e, quindi, sulle colture grazie a diversi sistemi di monitoraggio. Il flybot, inoltre, è dotato anche di un sistema di rilascio per l'irrorazione mirata;
3. un plantoide, ovvero un'unità robotica sensorizzata dedicata al monitoraggio e all'analisi del suolo. Essa è ispirata alle radici, e alla loro capacità di crescita e permette di esplorare il suolo e misurare alcuni parametri come l'umidità o la temperatura;
4. un'Ancillarybot, una stazione posizionata a bordo campo per poter effettuare le operazioni a supporto delle flotte di robot;
5. una piattaforma informatica, ovvero la piattaforma Smash, che gestisce in modo intelligente tutti i dati raccolti o monitorati, per poter supportare gli agricoltori nelle scelte di intervento.

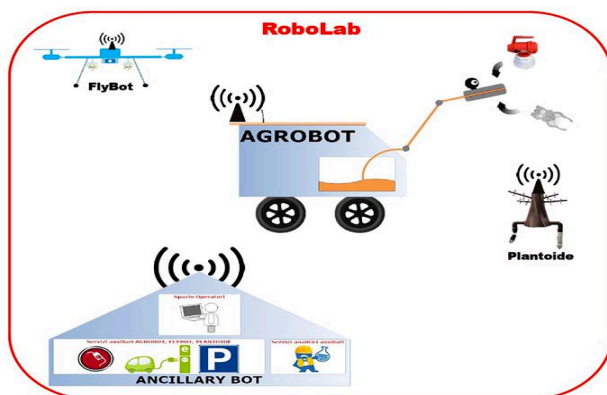


Figura 5 – Progetto Smash: l'ecosistema robotico collaborativo

Fonte: Yanmar, 2018

Il progetto Smash è finalizzato ad effettuare una gestione sostenibile delle risorse in agricoltura, tra cui fertilizzanti, sementi, carburanti, acqua, che viene ottenuta grazie al controllo da parte delle macchine che gestiscono le risorse.

6.6 Progetto AgriFoodTEF

Il Progetto AgriFoodTEF (The European Testing and Experimentation Facilities for Agrifood Innovation) del 2023 si propone di sviluppare e mettere a regime una rete europea di infrastrutture per testare e validare soluzioni di intelligenza artificiale e robotica utilizzate nel settore dell'agroalimentare, fornendo anche nuovi servizi alle aziende manifatturiere impegnate nel comparto della meccanizzazione agricola. Il progetto offrirà anche soluzioni di certificazione, di benchmarking e di validazione ancora non disponibili sul mercato, per tutte quelle applicazioni innovative che comprendono l'intelligenza artificiale applicata alle macchine agricole, la robotica, il telerilevamento (anche con droni), la connettività ultraveloce e l'analisi automatizzata di immagini e dati a tutto vantaggio della sostenibilità e della tracciabilità delle produzioni (DEIB, 2023).

Il Consorzio AgriFoodTEF consiste di tre nodi nazionali (Italia, Germania e Francia) e quattro satelliti (Polonia, Belgio, Svezia e Austria). La ricerca si concentra su 5 settori (AgriFoodTEF Consortium, 2023): agricoltura arabile, colture arboree, orticoltura, allevamento di bestiame, trasformazione dei prodotti alimentari. Il progetto ha ricevuto finanziamenti per 60 milioni di euro, il 50% dall'UE e l'altra metà dai governi degli Stati che fanno parte del consorzio, e avrà una durata di cinque anni.

7 Conclusioni

Tema fondamentale per lo sviluppo del settore primario è l'applicazione dell'innovazione tecnologica ai processi della produzione agricola. In particolare, scarsità e rincaro dei costi degli input produttivi e dell'energia possono essere gestiti al meglio dalle tecnologie digitali per cui l'agrifood deve orientarsi verso la valorizzazione delle soluzioni digitali. Le tecnologie finalizzate alla raccolta, memorizzazione ed analisi dei dati sono le tecnologie prevalenti tra le tecnologie abilitanti dell'agricoltura 4.0. Ne consegue la priorità dell'interoperabilità delle diverse opzioni tecnologiche, in quanto garante dell'integrazione di dati raccolti dai diversi sistemi. D'altra parte, la condivisione dei dati, in quanto strumento di visibilità su tutta la filiera, diviene la garanzia per il perseguimento della tracciabilità e sostenibilità delle produzioni agroalimentari. Come evidenziato dai progetti di ricerca esaminati, intelligenza artificiale e robotica rappresentano un punto di

svolta anche nel mondo agricolo, in quanto tecnologie fondamentali per i processi decisionali o modellizzazione agricola.

Bibliografia

- AGRIFOODTEF CONSORTIUM (2023). *The European Testing and Experimentation Facilities for Agrifood Innovation*. <https://www.agrifoodtef.eu/>
- ALBANI, D., IJSELMUIDEN, J., HAKEN, R., & TRIANNI, V. (2017). Monitoring and Mapping with Robot Swarms for Agricultural Applications. *14a Conferenza internazionale IEEE sulla sorveglianza avanzata video e segnale basata su (AVSS)*, Lecce, Italia, pp. 1-6, doi: 10.1109/AVSS.2017.8078478 <http://laral.istc.cnr.it/saga/wp-content/uploads/2018/02/ITEMS2017-ID11.pdf>
- CARPIO, R.F., POTENA, C., MAIOLINI, J., ULIVI, G., ROSSELL, N.B., GARONE, E., & GASPARRI, A. (2020). A Navigation Architecture for Ackermann Vehicles in Precision Farming. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2), 1103-1110. doi: 10.1109/LRA.2020.2967306 <http://gasparri.dia.uniroma3.it/biblio/pdf/GasparriRAL12020.pdf>
- COMMISSIONE EUROPEA (2018). *Nuovi robot pronti a trasformare l'agricoltura*. <https://cordis.europa.eu/article/id/229078-new-robots-set-to-transform-farming/it>
- COMMISSIONE EUROPEA (2021). *Precision Farming of Hazelnut Orchards*, <https://cordis.europa.eu/article/id/435494-a-tough-nut-to-crack-personalised-care-for-individual-trees/it>
- COMMISSIONE EUROPEA (2022). *La Politica agricola comune 2023-2027*, https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27_it
- COMMISSIONE EUROPEA (2023a). *Obiettivi strategici chiave della nuova PAC*, https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27/key-policy-objectives-cap-2023-27_it
- COMMISSIONE EUROPEA (2023b). *Sviluppo rurale - Programmi di sviluppo rurale*. https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/rural-development_it
- CREA – CONSIGLIO PER LA RICERCA IN AGRICOLTURA E L'ANALISI DELL'ECONOMIA AGRARIA (2022). *Annuario dell'agricoltura italiana 2021*, volume LXXV, Roma. https://www.crea.gov.it/documents/68457/0/Annuario_CREA_2021_Volume_LXXV.pdf/49fc57e1-a325-50f4-22bb-d044d0f24dbe?t=1671527592245
- CRISTOFORI, V., SPERANZA, S., SILVESTRI, C., CONTARINI, M., VARVARO, L., GASPARRI, A., GARONE, E., UDELHOVEN, T., RETZLAFF, R., LAMPRECHT, S., GRAZIANI, E., PECCHIA, M., GIUSTARINI, L., GALLI, D., CARLETTI, C., ULIVI, G., TORLONE, R., & FREZZA, A. (2018). PANtHEOn-precision farming in hazelnut orchards. In *Acta Italus Hortus XII giornate Scientifiche SOI*, 2018, https://www.soihs.it/public/02/26/Oral%20poster_compresso.pdf, p.53 e <https://pantheon.inf.uniroma3.it/project.html>

- DEIB – DIPARTIMENTO DI ELETTRONICA E BIOINGEGNERIA-POLITECNICO DI MILANO (2023). *Progetti Europei – AgriFoodTEF*. <https://www.deib.polimi.it/ita/progetti-europei/dettagli/455>
- FERNANDES, M., SCALDAFERRI, A., FIAMENI, G., TENG, T., GATTI, M., PONI, S., SEMINI, C., CALDWELL, D., & CHEN, F. (2021). Grapevine Winter Pruning Automation: On Potential Pruning Points Detection through 2D Plant Modeling using Grapevine Segmentation. *11th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*. Jiaxing, China. IEEE. pp. 13-18. doi: 10.1109/CYBER53097.2021.9588303. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9588303>
- FLOURISH CONSORTIUM (2018a). *FLOURISH Final Report*, <http://www.flourishmobility.com/about-flourish>
- FLOURISH CONSORTIUM (2018b). *Progetto Flourish*, <http://assam.marche.it/component/jdownloads/send/77-european-projects/971-flourish-brochure-it>
- GIUSTARINI, L., LAMPRECHT, S., RETZLAFF, R., UDELHOVEN, T., BONO ROSSELLÒ, N., GARONE, E., CRISTOFORI, V., CONTARINI, M., PAOLOCCI, M., SILVESTRI, C., SPERANZA, S., GRAZIANI, E., STELLIFERI, R., CARPIO, R.F., MAIOLINI, J., TORLONE, R., ULIVI, G., & GASPARRI, A. (2020). *PANTHEON: SCADA for Precision Agriculture*. In: Tian, YC., Levy, D. (eds) *Handbook of Real-Time Computing*. Springer, Singapore. Cap.3, pp.1-38 https://doi.org/10.1007/978-981-4585-87-3_42-1
- GOVERNO ITALIANO (2021). *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza “Italia domani”*. <https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR.pdf>
- IFR – INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS (2022) *World Robotics Report 2022*. https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf, pp.39 e 45
- IFR – INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS (2023) *Robotics Research: How Asia, Europe and America Invest – Global Report 2023*. <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/robotics-research-how-asia-europe-and-america-invest>
- IPSOA. *Fondo per l’innovazione in agricoltura: quali sono le tecnologie che le imprese possono finanziare*, 2022, <https://www.ipsoa.it/documents/quotidiano/2022/12/10/fondo-innovazione-agricoltura-tecnologie-imprese-possono-finanziare>
- JRC (JOINT RESEARCH CENTRE) OF THE EUROPEAN COMMISSION, 2014. *Precision Agriculture: An Opportunity for EU-Farmers - Potential Support with the CAP 2014-2020*, s.l.: s.n., p.34 [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT\(2014\)529049_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/note/join/2014/529049/IPOL-AGRI_NT(2014)529049_EN.pdf)

- MASAF – MINISTERO DELL'AGRICOLTURA, DELLA SOVRANITÀ ALIMENTARE E DELLE FORESTE (2023) *Stato di attuazione del PNRR*, Masaf - Set slide informativo misure PNRR e PNC (politicheagricole.it)
- MILBURN L., GAMBA J., FERNANDES M., & SEMINI C. (2023) *Computer-Vision Based Real Time Waypoint Generation for Autonomous Vineyard Navigation with Quadruped Robots*. IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions, ICARSC.. 239-244 <https://arxiv.org/pdf/2305.01700.pdf>
- MIMIT – MINISTERO DELLE IMPRESE E DEL MADE IN ITALY, (2023a) *Transizione 4.0*, <https://www.mimit.gov.it/it/transizione40>
- MIMIT – MINISTERO DELLE IMPRESE E DEL MADE IN ITALY, (2023b). *Beni strumentali - Nuova Sabatini*, <https://www.mimit.gov.it/index.php/it/incentivi/agevolazioni-per-gli-investimenti-delle-pmi-in-beni-strumentali-nuova-sabatini>
- MIPAAF – MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE ALIMENTARI E FORESTALI (2017) *Linee guida per lo sviluppo dell'Agricoltura di Precisione in Italia* s.l., s.n. <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/12069>
- MORDOR INTELLIGENCE (2023). *Europe Precision Farming Market Size & share analysis-Growth trends & forecasts (2023-2028)*, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-precision-farming-market>
- OSSERVATORIO SMART AGRIFOOD (2023). *Atti del Convegno “Da adozione a valorizzazione : la sfida dello smart agrifood”*, 16 marzo 2023, Milano <https://www.osservatori.net/it/eventi/on-demand/convegni/2023-osservatorio-smart-agrifood-convegno-risultati-ricerca>
- OSSERVATORIO WINE MONITOR (2023) *Mercati, territori e imprese: gli asset che creano valore per la filiera vitivinicola italiana nell'indagine Unicredit-Nomisma presentata a Vinitaly 2023*, <https://www.nomisma.it/la-filiera-vitivinicola-italiana-nellindagine-unicredit-nomisma-a-vinitaly-2023/>
- POPESCU, D., STOICAN, F., STAMATESCU, G., ICHIM, L., & DRAGANA, C. (2020) Advanced UAV-WSN System for Intelligent Monitoring in Precision Agriculture. *Sensors* 20(3):817. doi: 10.3390/s20030817. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/3/817>
- POTENA, C., IMPEROLI, M., PRETTO, A., NARDI, D., TALEVI, S., & NARDI, S. (2016). La robotica autonoma al servizio dell'agricoltura di precisione: primi risultati di classificazione automatica delle infestanti nel progetto flourish. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 1, pp.641-650, <https://www.ciaap.it/newsite/attachments/article/544/la-robotica-autonoma-al-servizio-dell-agricoltura-di-precisione-primi-risultati-di-classificazione-automatica-delle-infestanti-nel-progetto-flourish-.pdf>

- RENGA, F., BACCHETTI, A., PEZZOLLA, P. & PAVESI, M. (2019). *L'Agricoltura 4.0 in Italia: domanda e offerta a confronto*, s.l.: s.n. <https://www.osservatori.net/it/prodotti/formato/report/agricoltura-4-0-italia-domanda-offerta>
- RETE RURALE NAZIONALE (2023), *Piano Strategico PAC 2023/27 –versione approvata*. https://www.reterurale.it/downloads/PSP_Italia_15112022.pdf
- SAGA CONSORTIUM (2016). *SAGA*. <http://laral.istc.cnr.it/saga/>
- SARRI D., S. LOMBARDO S., LISCI R., DE PASCALE V., VIERI M. (2020) Agro-Bot Smash a robotic platform for the Sustainable Precision Agriculture in *Innovative Biosystems Engineering for Sustainable Agriculture, Forestry and Food Production*, Springer, vol. 67, pp. 793-801. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-39299-4_85
- SARRI, D., CENCINI, G., LISCI, R., PAGLIAI, A., PERNA, C., LOMBARDO, S., VIERI, M., PENCELLI, M., NICCOLINI, M., ARGIOLOS, A., CAPPALUNGA, A., BARTOLI, L.; DOVERI, N., & TOGNETTI, F. (2021). RoboSpray SMASH: proof of concept modular robot platform for crop protection in viticulture. *13th European Conference on Precision Agriculture '21*, Budapest, Hungary, 18-22 July 2021, Wageningen Academic, pp. 727-733, ISBN:978-90-8686-363-1 https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/978-90-8686-916-9_87
- SEMINI, C., BARASUOL, V., FOCCHI, M., BOELENS, C., EMARA, M., CASELLA, S., VILLARREAL, O., ORSOLINO, R., FINK, G., FAHMI, S., MEDRANO-CERDA, G., SANGIAH, D., LESNIEWSKI, J., FULTON, K., DONADON, M., BAKER, M., & CALDWELL, D.G. (2019). Brief introduction to the quadruped robot HyQReal. *1th Italian Conference on Robotics and Intelligent Machines (I-RIM)*, 18-20 October 2019, Roma. <https://iit-dlslab.github.io/papers/semini19irim.pdf>
- TENG, T., FERNANDES, M., GATTI, M., PONI, S., SEMINI, C., CALDWELL, D., & CHEN, F. (2021). Whole-Body Control on Non-holonomic Mobile Manipulation for Grapevine Winter Pruning Automation. *6th IEEE International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM)*, Chongqing, China, pp. 37-42, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9536083>
- UNIVERSITÀ CATTOLICA DEL SACRO CUORE DI PIACENZA (2019). *Prinbot*, <https://dipartimenti.unicatt.it/diproves-progetti-di-ricerca-prinbot>
- UNIVERSITÀ CATTOLICA DEL SACRO CUORE DI PIACENZA E ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA (2018), *Progetto Vinum*. <https://vinum-robot.eu/project>
- UNIVERSITÀ DI ROMA TRE (2017). *Progetto Pantheon* <http://pantheon.inf.uniroma3.it/>

- WALTER, A., KHANNA, R., LOTTES, P., STACHNISS, C., SIEGWART, R., NIETO J., & LIEBISCH F. (2018) Flourish - A robotic approach for automation in crop management. *Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture* June 24 – June 27, 2018 Montreal, Quebec, <https://www.ipb.uni-bonn.de/wp-content/papercite-data/pdf/walter2018icpa.pdf>
- YANMAR (2018). *Yanmar Makes a SMASH in Italy*. https://www.yanmar.com/global/about/ymedia/article/smash_in_italy.html

Circular economy in the agri-food sector: an environmental and social analysis from portuguese companies

Federica Scandurra

University of Messina

Roberta Salomone

University of Messina

Sandra Caeiro

Universidade Aberta

Ana Pinto de Moura

Universidade Aberta

ABSTRACT

The agri-food sector is gaining interest in the circular economy, but environmental, economic and social factors limit its adoption at the company level. To explore the adoption of the circular economy from an environmental, economic and social perspective, an empirical analysis based on 9 semi-systematic online interviews was conducted from March to June 2023 on a selected sample of Portuguese companies already implementing circularity in the agri-food sector.

The results showed that: circularity is linked to environmental and economic factors but is also limited by cultural and financial barriers; the assessment is not a primary concern in the sector, which explains the lack of knowledge on available methodologies; social value is generated to support the community and develop networks.

Therefore, it is crucial to explore the reality of the sector's operators to understand how to support companies and create tools adapted to their needs to ensure the effective adoption of circularity.

KEYWORDS: Agri-food sector; Company level; Circularity assessment, Interviews

1 Introduction

The circular economy (CE) is gaining momentum as a paradigm able to decouple economic growth from resource exploitation (EMAF, 2015), on the way to sustainable development.

Among the critical sectors that urge to be directed to sustainability, is the agri-food system (AFS). Nowadays, the AFS is severely challenged.

On the one hand, 930 million tons of food get wasted or lost along the supply chain, on the other, 800 million people still face hunger (Abbate et al., 2023). The expected population growth of 2 billion people by 2050 will additionally increase the environmental burdens for the sector (Silvestri et al. 2022). A context in which breeding and farming sectors are already largely responsible for climate change and biodiversity loss globally (De Bernardi et al., 2023). Thus, circularity could be a valuable tool to redirect the sector towards sustainable production and consumption.

For this reason, the study of CE is now flourishing in the AFS. Focusing on the last years, studies explored e.g., CE implementation in the agro-food supply chain (Esposito et al., 2020), the main drivers and barriers to CE adoption in the agri-food context (Mehmood et al. 2021), or the identification of the critical factors for the expansion of circular food systems (De Bernardi et al., 2023). In a previous analysis, Scandurra et al., (2023) pointed out the maturity of the sector in terms of CE, since circularity's examples can be retraced to the roots of the food system.

However, several lacks still limit its uptake among companies. Among the issues, is the assessment of CE (Roos Lindgreen et al., 2022). Assessing is crucial, since it allows us to understand how the principles of CE have been implemented, quantifying the progress made (Fassio and Chirilli, 2023). Several types of indicators are proposed in the literature for measuring CE impacts in the AFS. However, such fragmentation makes it difficult for companies to monitor the circularity of their strategies (Poponi et al., 2022). For this reason, it is important to understand the company's point of view and to investigate how the companies adopt those indicators, but also which obstacles and benefits are linked to their adoption (Silvestri et al., 2022).

Moreover, literature marginally considers the social impacts of CE (Murray et al., 2017) and such marginalization is confirmed in the AFS (Scandurra et al. 2023; Atanasovska et al., 2022). Nevertheless, as pointed out by Murray et al. (2017), without including the societal needs in CE formulation it is impossible to fully address sustainability. The social dimension is already embedded into the CE logic, given the strong need for cooperation which involves several stakeholders beyond the company's supply chain (Mies and Gold, 2021). The limited consideration of the social perspective may be caused by a vague conceptualization of the social dimension in CE. This generated a lack of empirical studies reporting companies' views and integration of the social dimension of CE (Walker et al., 2021).

However new European regulations, like the Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) (European Commission, 2021) indicate CE as one of their key objectives (Opferkuch et al., 2022). Therefore,

CE will offer relevant opportunities to companies able to measure and communicate the value of the circular strategies implemented.

Thus, more empirical studies are required to explore the implementation and characterization of CE in the sector. This makes it necessary to investigate the needs and opportunities of companies in the sector through empirical studies.

In this sense, Portugal offers an interesting perspective of analysis to explore the circularity of the AFS in the European context. First, the food sector has valuable weight in the country's economy; the agricultural output generated almost EUR 7.1 billion in 2018 (crop production 60% and animal output 38%), but it is also a key driver of the manufacturing industry, accounting for 14.5% of total sales in 2016 (fi-compass, 2020). Furthermore, in recent years, Portugal has demonstrated a strong interest in implementing CE for the AFS. Indeed, it has promoted initiatives like the "Alentejo Circular" project (2016-2018), or the "REiNOVA Si" project (2019-2021).

All these reasons led to the choice of Portugal as the reference context for the present empirical study. The analysis aims to explore how CE is implemented in a selected sample of Portuguese companies of the AFS, i.e., examining drivers and barriers to its adoption, the assessment, the social value creation potential. To do so, 9 semi-structured interviews were conducted with companies already adopting circularity in their activities and preliminary analysis were conducted.

The present article is articulated in four sections: an introductory section, to contextualize the frame of research; the methodological section, to explain the path followed to carry out the analysis; the results and discussion section, to critically analyze the findings; finally, the concluding section to identify limitations of the study, as well as possible future research.

2 Methodology

Nine Portuguese companies that already adopting circularity were interviewed. Specifically, they were companies involved in the non-profit association "Portugal Foods" (<https://www.portugalfoods.org/en/>), which comprises several actors of the national food chain, and companies that took part in the project "Alentejo Circular" project (<https://alentejocircular.uevora.pt/>), created by the Instituto Soldadura e Qualidade (ISQ) and the University of Évora to increase the knowledge on circularity in the olive oil, wine, and pig breeding supply chains in Alentejo (Portugal). For this, a semi-structured interview guidelines articulated into open-ended ques-

tions were developed. The semi-structured form was chosen due to its capacity to focus attention only on information directly related to the study aim (Harris et al., 2009). The interviews were conducted in written or oral modality depending on the interviewers' preference.

The following dimensions were considered during the interviews: i) CE practices implemented, drivers and barriers of adoption; ii) circularity assessment, adopted tools, benefits and barriers of measurement; iii) CE and social value generation opportunities. The interviews were conducted in English with a mean duration of 60 ± 34.5 min through Microsoft Teams. To minimize possible lack of information, the interview sessions were recorded, and additional notes were taken by the interviewers.

An inductive thematic analysis was chosen to analyse the interviews (Braun & Clarke, 2006). Given the exploratory nature of this study, inductive coding is the most appropriate choice as it allows themes to be identified directly from the data (Joffe and Yardley, 2003). The qualitative data analysis software QSR NVivo (1.4) was used to perform the analysis. The presence of inconsistencies or discrepancies during the coding process was checked to provide a thorough understanding of the text. Note that the same text extract might be related to multiple themes.

3 Results and Discussion

3.1 Sample overview

Companies were classified according to the Portuguese official geographic localization (NUTS II), the size (following the Eurostat classification scheme for small and medium enterprises-SME and large) and supply chain stage. Specifically, 44.5% of these companies were localized in the North, of Portugal, 33.5% in the Metropolitan Area of Lisbon, and 22% in the Centre of the country. In addition, 44.5% of them were large companies, and 55.5% were SMEs. Moreover, 78% of them were articulated into processing and packaging stages, 44% into primary production and food distribution, 33% belonging to handling and storage stage and 11% to the retailing stage. The percentage exceeds 100% since more options could be chosen for each option (Figure 1).

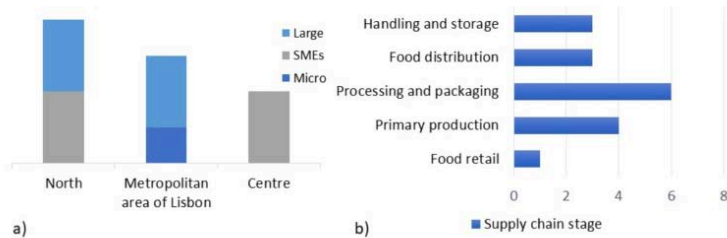


Figure 1 – Sample characteristics; a) Size and localization, b) supply chain stage

3.2 Conceptualization and implementation

In analyzing the drivers of CE adoption, the most relevant are the environmental and economic ones; companies indeed stress the importance of having a clear strategy in environmental terms and to focus on resource optimization, which allows them considerable cost reductions. This is in line with Mehmood et al. (2021), which elected environmental and economic drivers as the most popular for the AFS. Social drivers are rarely mentioned in the sample. Overall, the social driver remains the least considered of the triple bottom line, as evidenced by previous literature (Murray et al., 2017). Considered as direct support for the surrounding community (e.g., donations) but also as a potential guide for people's consumption choices. Mentioned is also the desire to generate brand value, making CE a banner of the company, and improving its market recognition. In discussing the reasons to adopt CE, companies stressed the role of company culture, expressed as management commitment to pursue CE. The lack of internal managerial purpose to implement CE negatively affects the overall organization's disposition towards CE, severely limiting its rooting into the company's mindset (Farooque et al., 2019).

At the same time, several barriers hamper CE adoption in the sector. The most relevant appear to be cultural. Primarily companies have a general skepticism about CE investments, secondly, a lack of interest is perceived by retailers and consumers. Especially consumers are reluctant to leave convenience for more responsible purchases. Finally, the uncertainty for the upcoming regulation is also perceived as a barrier among the sample (see Figure 2).

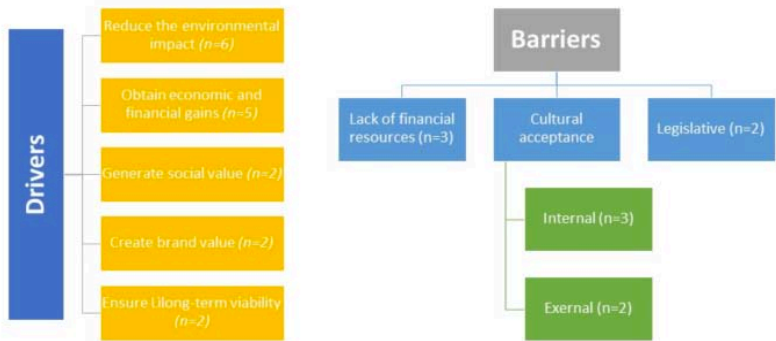


Figure 2 – Drivers and barriers to CE implementation

Regarding CE implementation, the practices described during the interviews were identified, and classified according to their final goal. Most of the practices are agricultural-related (reported by seven companies), e.g., the use of compost to obtain nutrients, the use of almonds' green peel as a natural herbicide, or water optimization technologies to save water from irrigation. Relevant are also the material-oriented practices (reported by nine companies), especially in terms of packaging. Examples are the use of compostable material to replace plastic in cheese packaging, the implementation of a deposit return system for plastic and cans in the beverage sector, the reduction of packaging material, improving product design, or the introduction of a returnable system for bottles and kegs, in which they are consumed, collected by the company, cleaned, verified and then filled again to go back on the market. Food and feed practices (referred by seven companies) e.g., the use of the company's subproducts (namely, spent grains) as animal and insect feed, the use of whey, a subproduct of cheese production, as pigs feed, or the use of cheese fat to produce butter and cream cheese. The category can be divided into food-sharing practices, namely donations to the community and company's staff and food waste reduction practices e.g., the use of IT tools to monitor the replenishment, ordering and forecast of fruit and vegetables, cost reductions for products close to expiry (pink labels), or zero waste boxes with mature and less good-looking fruit and vegetables, to incentivise customers purchase, the reincorporation of the cheese not well pressed from one production line into other cheese lines. Finally, only a few practices are energy-oriented, one in terms of biomass, to reduce the carbon emissions at factory level, the other for the reuse of steam to heat water and use it for machinery cleanings. Moreover, some practices currently under study were identified, as innovative ones

e.g., the use of Bovaer, a feed supplement that reduces enteric methane emissions of cows, or the transformation of almond shells into a compound able to replace plastic, to more conventional practices, e.g., the use of food retail surplus/waste to produce new food products like jams, chutneys, or bread, reusable cases for the transportation of cheese, implementing refill projects for detergents and pet food, including containers with an equipment for refilling. The presence of several practices for future application is, a sign that companies' efforts for CE will increase soon.

3.3 Assessment

Regarding the monitoring, 5 companies (one large and three SMEs) state of not adopting any form of CE assessment but explore the criticalities to be faced. The primary cause can be attributed to a lack of interest from companies in measuring. This is confirmed by the fact that they are not aware of the methodologies available for measurement. This is not new in the Portuguese context, where the same lack of interest in assessment was found in the public sector (Droege et al., 2021). Just the large company is on the way to CE assessment, specifically exploring the circularity of packaging.

The coding process identified several barriers to the assessment as evidenced by fig. 3. Regarding company's internal capabilities, they do not feel that they have an organization to support the monitoring phase. The size and age of the companies seem to additionally limit their capacity due to budget and social capital restraints. Moreover, the lack of any legal obligation makes companies less interested.

The assessment process as slow and complex for companies, especially for smaller ones. Finally, the lack of awareness and interest in assessment makes it difficult to involve other supply chain actors. Nevertheless, their demand and collaboration for it would be a clear push for companies. Overall, they recognise the weight that CE measurement will have in the short term due to supply chain and legislation pushes.

The remaining 4 companies, three large and one SME, indicate the use of circularity measurement tools and explore the benefits obtained. Several internal benefits were identified related to the gained process efficiency, environmental impact reduction and decision-making support. Communication benefits were linked to the improvement of company reputation, but also to increase the awareness of consumers and employees on the importance of impact reduction. Moreover, one company mentioned the importance to start measuring to be ready for possible legislation and anticipating future requirements. Another interesting point is the lack of assessment benchmarks, which limits companies' possibility to evaluate their past performance or to compare with other companies. The absence

of shared benchmarks for CE is still critical in every economic sector (Roos Lindgreen et al., 2022). The limited interest evidenced in the sample suggests the need to develop more empirical studies in the sector but also to create learning and training events aimed at increasing CE awareness and the consequent importance of its assessment.

Companies report the use of different forms of assessment and that companies could use more tools, so their number does not match with the number of assessing companies. Specifically, communication reports according to the GRI reporting standards (n=2, Large), Life-cycle tools (n=3, Large) (namely, carbon footprint and life cycle assessment), performance indicators (n=3, Large) and tailor-made indicators (n=2, Large and SME).

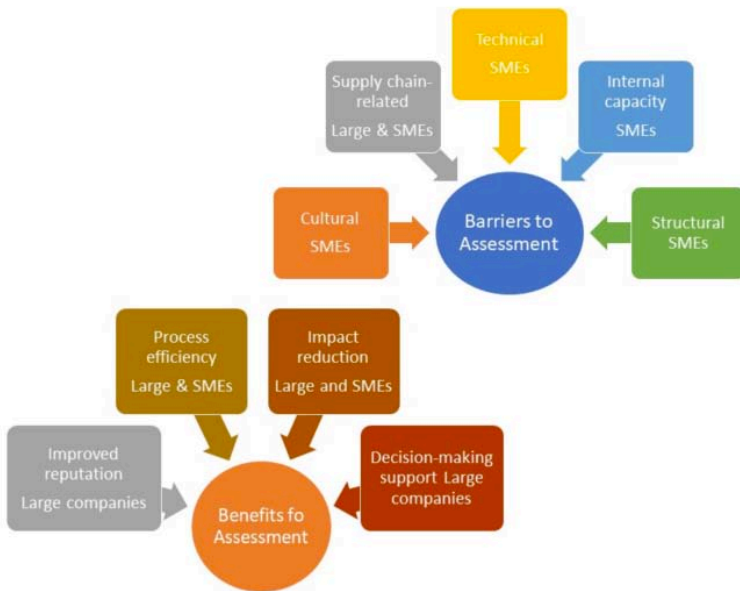


Figure 3 – Benefits and barriers to CE assessment

3.4 Social value

The capacity of CE to generate social value was investigated by analysing companies' initiatives having a social impact, answers were analysed through inductive coding. Themes classification was inspired by the framework of Labuschagne et al. (2005): a) employee conditions, b) local community enforcement, c) stakeholder participation, and d) policy. The category a) considers the overall well-being of the worker, improving in-

clusiveness and cohesion but also increasing employee awareness and involvement in decision-making. Category b) includes the generation of productive capital, through new assets; human capital, through education and sensibilization programs in schools; finally, community capital, including initiatives directly to enforce social relationships e.g., donations and supporting local new businesses. Regarding the last point, companies stressed the importance of developing collaborations with closer companies to exploit CE potential even in activities not strictly related to their core business. Category c) includes stakeholder's influence, which means the possibility to influence or be influenced by stakeholders. On the one hand, companies influence distributors and suppliers e.g., by imposing stricter supply requirements, but also clients e.g., proposing more sustainable purchase options and driving their attention to sustainable issues; on the other, could perceive pressure from retailers and consumers that willing to acquire products with certain characteristics in terms of sustainability. The category is further articulated into the provision of information and network development. The first is defined as informing the stakeholders about the initiatives promoted inside the company, e.g., in terms of corporate social sustainability, which seems a prerequisite to obtaining trust and funding from the market. Second, with the development of collaborative networks across industries; academia is perceived as a valuable partner for this kind of collaboration, given its capacity to offer new, updated insights into industry issues. CE encourages companies to collaborate with companies beyond their core business and at the initial stage of development, since they may offer potential innovative collaborations, while smaller and younger companies need the support of large enterprises to obtain support and be guided into business. Finally, d) policy implications are poorly mentioned in the sample, specifically directed to push for policy changes. Despite the limited attention, the social implications of the CE are tangible for the companies in the sample. This suggests that CE can promote social value creation and thus should be more valorised inside companies, being included in communication and education initiatives inside companies.

4 Conclusions

This exploratory study is based on 9 semi-systematic interviews conducted on a selected sample of Portuguese companies of the AFS implementing CE. The preliminary analysis shows how circularity is mainly driven by environmental and economic reasons but also that there are still significant obstacles to its uptake in the sector. Currently, the assessment is not a priority, indicating a critical lack of awareness for the companies of

the sector, whether assessing companies can already testify relevant benefits e.g., in terms of resource optimization. Social value creation is part of CE, especially in terms of commitment to the community and offers interesting collaborative opportunities with neighbouring companies. This contribution, although exploratory, gives relevant insights into the implementation of CE, investigating its assessment and the social value creation potential in companies of the AFS.

The selection of a single Country of investigation may have influenced the outcome of the analysis, thus results should be contextualized carefully. The weight of the sector in the Portuguese economy and the numerous projects for its circularity make it an interesting context to study. Given the aim to deeply analyse the features of CE in the sector, only companies with experience in circularity implementation were selected limiting the numerosity of the sample.

More studies targeted on the company's experience are recommended in the sector, to guide companies to CE valorisation and assessment following businesses' needs and capabilities. Food has a significant social and cultural value; CE is a tool able to foster sustainable practices and mindsets, directing sustainable development.

Acknowledgements

The authors thank the Portugal Foods for their support in recruiting the participants. Part of this project had the support of FCT, Portugal through the strategic projects UID/AMB/04085/2019.

Awarded to CENSE. The project was supported by a PON scholarship (CUP: J15F20000140007) Ricerca e Innovazione 2014-2020, XXXVI cycle.

The author Moura, A.P. acknowledge financial support from the national funds by FCT through projects UIDB/05748/2020 and UIDP/05748/2020 (research unit GreenUPorto).

References

- ABBATE, S., CENTOBELLI, P., CERCHIONE, R., GIARDINO, G., & PASSARO, R. (2023). Coming out the egg: assessing the benefits of circular economy strategies in agri-food industry. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135665. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135665>.
- ATANASOVSKA, I., CHOUDHARY, S., KOH, L., KETIKIDIS, P.H., & SOLOMON, A. (2022). Research gaps and future directions on social value stemming from circular economy practices in agri-food industrial parks: Insights from a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 354, 131753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131753>.
- BRAUN, V., & CLARKE, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101. <http://dx.doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>.
- DE BERNARDI, P., BERTELLO, A., FORLIANO, C., 2023. Circularity of food systems: a review and research agenda. *British Food Journal*. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2021-0576>.
- DROEGE, H., RAGGI, A., & RAMOS, T.B. (2021). Overcoming current challenges for circular economy assessment implementation in public sector organisations. *Sustainability*, 13(3), 1182. <https://doi.org/10.3390/su13031182>.
- ELLEN MCARTHUR FOUNDATION, 2015. Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition. Available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>.
- ESPOSITO, B., SESSA, M.R., SICA, D., MALANDRINO, O., 2020. Towards circular economy in
- EUROPEAN COMMISSION. (2021). Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2013/34/EU, Directive 2004/109/EC, Directive 2006/43/EC and Regulation (EU) No 537/2014, as regards corporate sustainability reporting (Issue COM(2021) 189 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021PC0189&from=EN>.
- FAROOQUE, M., ZHANG, A., & LIU, Y. (2019). Barriers to circular food supply chains in China. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(5), 677-696. <https://doi.org/10.1108/SCM-10-2018-0345>.
- FASSIO, F., & CHIRILLI, C. (2023). The Circular Economy and the Food System: A Review of Principal Measuring Tools. *Sustainability*, 15(13), 10179. <https://doi.org/10.3390/su151310179>.

- FI-COMPASS, 2020. Financial needs in the agriculture and agri-food sectors in Portugal. Available at: <https://www.fi-compass.eu/publication/publications/financial-needs-agriculture-and-agri-food-sectors-portugal>.
- JOFFE, H., & YARDLEY, L. (2003). Chapter four: content and thematic analysis. *Research Methods for Clinical and Health Psychology*. Marks D, Yardley L (ed): Sage Publications, London, 56-68.
- KIRCHHERR, J., REIKE, D., & HEKKERT, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- LABUSCHAGNE, C., BRENT, A.C., & VAN ERCK, R.P. (2005). Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of cleaner production*, 13(4), 373-385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.10.007>.
- MARTINS, S., 2020. Guia Informativo sobre Economia Circular para o Setor Agroalimentar. Available at: <https://qualifica.portugalfoods.org/wp-content/uploads/2020/12/guia-economia-circular.pdf>.
- MEHMOOD, A., AHMED, S., VIZA, E., BOGUSH, A., & AYYUB, R.M. (2021). Drivers and barriers towards circular economy in agri-food supply chain: a review. *Business Strategy & Development*, 4(4), 465-481. <https://doi.org/10.1002/bsd.2.171>.
- MIES, A., & GOLD, S. (2021). Mapping the social dimension of the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128960. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128960>.
- MURRAY, A., SKENE, K., & HAYNES, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of business ethics*, 140, 369-380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>.
- OPFERKUCH, K., CAEIRO, S., SALOMONE, R., & RAMOS, T.B. (2022). Circular economy disclosure in corporate sustainability reports: The case of European companies in sustainability rankings. *Sustainable Production and Consumption*, 32, 436-456. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.05.003>.
- POPONI, S., ARCESE, G., PACCHERA, F., & MARTUCCI, O. (2022). Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: Selection of indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 176, 105916. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105916>.
- REINOVA-SI PROJECT. Available at: <https://reinova-si.eu/en/homeen/>.
- ROOS LINDGREEN, E., OPFERKUCH, K., WALKER, A.M., SALOMONE, R., REYES, T., RAGGI, A., ... & CAEIRO, S. (2022). Exploring assessment practices of companies actively engaged with circular economy. *Business Strategy and the Environment*, 31(4), 1414-1438. <https://doi.org/10.1002/bse.2962>.

- SCANDURRA, F., SALOMONE, R., CAEIRO, S., GULOTTA, T.M., 2023. The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: A systematic literature review. *Environ Impact Assess Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107079>.
- SILVESTRI, C., SILVESTRI, L., PICCAROZZI, M., RUGGIERI, A., 2022. Toward a framework for selecting indicators of measuring sustainability and circular economy in the agri-food sector: a systematic literature review. *International Journal of Life Cycle Assessment.* <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02032-1>.
- WALKER, A.M., OPFERKUCH, K., LINDGREEN, E.R., SIMBOLI, A., VERMEULEN, W.J., & RAGGI, A. (2021). Assessing the social sustainability of circular economy practices: Industry perspectives from Italy and the Netherlands. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 831-844. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.01.030>.

Enoturismo e promozione dei vini del territorio. Indagine presso le aziende vitivinicole della provincia di Torino in Piemonte

Giovanni Peira
Università di Torino
Riccardo Beltramo
Università di Torino
Alessandro Bonadonna
Università di Torino
Giacomo Pasino
Università di Torino

ABSTRACT

L'obiettivo della ricerca è quello di analizzare il ruolo dell'enoturismo – parte integrante del turismo enogastronomico – in relazione alla promozione turistica del territorio della provincia di Torino (in Piemonte), con riferimento all'organizzazione di esperienze legate al vino presso le aziende vitivinicole ed all'utilità di aprire un punto immagine dei vini e dell'offerta locale.

Metodologia

Dopo la presentazione del quadro normativo di riferimento, il paper si concentra sull'attività di indagine condotta. I questionari sono stati somministrati ad un campione di aziende vitivinicole con sede in provincia di Torino attraverso la metodologia CAWI (Computer Assisted Web Interview). Tra gli aspetti oggetto di indagine rientrano l'organizzazione di attività enoturistiche, l'utilità delle iniziative di promozione dell'enoturismo, l'adozione di certificazioni di sostenibilità, le attività più rilevanti da svolgere presso un punto immagine dei vini del territorio.

I risultati mettono in evidenza la diffusione di proposte enoturistiche, visite in cantina e degustazioni in primis, e l'importanza di aprire un luogo di promozione dell'enoturismo locale nel centro storico di Torino. Inoltre, emerge che un punto di promozione della viticoltura locale in zona centrale di Torino potrebbe essere un utile strumento di contatto e comunicazione utilizzato dai produttori di vino per valorizzare ulteriormente le produzioni enoiche, con la possibilità di raggiungere un'ampia platea di potenziali clienti.

Inoltre, la creazione di un punto fisico per la promozione e la commercializzazione può essere di aiuto agli stakeholder pubblici e privati per la valorizzazione del patrimonio enogastronomico della provincia di Torino anche a fini turistici.

PAROLE CHIAVE: enoturismo; turismo enogastronomico; aziende vitivinicole; Torino.

1 Introduzione

L'enoturismo ed in generale le attività ed esperienze legate al vino riscuotono sempre maggior successo tra le persone e rappresentano una delle motivazioni di viaggio che spingono i turisti a scegliere la propria destinazione.

L'enoturismo, o turismo del vino, è parte integrante del turismo enogastronomico, come richiamato anche dall'UNWTO (2019), che lo definisce come quel tipo di turismo che ha l'obiettivo di visitare i vigneti e le cantine, di degustare, consumare, acquistare vino prevalentemente presso il produttore o comunque nell'area geografica di riferimento. Per rimanere in linea con le aspettative e le richieste dei consumatori (turisti compresi) le aziende vitivinicole puntano sempre più sulla creatività, senza dimenticare gli aspetti di tipo culturale, come dimostra un'indagine condotta in un campione di aziende americane, europee ed australiane nel periodo post pandemico (Szolnoki et al., 2022). La crescente attenzione da parte dei territori vitivinicoli allo sviluppo di attività enoturistiche è legata alla presenza di potenziali esternalità positive tra queste ultime ed il turismo gastronomico, l'immagine della destinazione e le sinergie con il turismo rurale (Serra-Cantalops et al., 2021). La competizione tra destinazioni enoturistiche è elevata e per questo è importante individuare i fattori che spingono il turista enogastronomico a scegliere una destinazione piuttosto che l'altra; da questo punto di vista l'immagine della destinazione enoturistica risulta essere tra i più importanti (Sekhniashvili e Bujdosó, 2023). L'immagine di una destinazione enoturistica dipende, tra gli altri aspetti, dalla qualità dell'offerta e dei prodotti enoturistici, per i quali giocano un ruolo prevalente il vino, la regione vitivinicola ed i produttori vitivinicoli (Sevil e Yuncu, 2009). L'enoturismo promuove inoltre la sostenibilità dell'intera destinazione turistica e contribuisce alla valorizzazione dell'intera filiera enogastronomica locale (Bràs et al., 2023).

L'Italia è il primo produttore di vino a livello mondiale (ISMEA, 2022a)¹ e, prima della pandemia, le stime in tema di enoturismo indicavano un coinvolgimento di 15 milioni di visitatori, per un giro d'affari di 2,65 miliardi di euro² (Città del Vino, 2020). A livello nazionale, il fenomeno dell'enoturismo si struttura nel corso degli anni Novanta, grazie in particolare alle attività di enti quali l'Associazione Nazionale Città del Vino ed

¹ Dati riferiti al 2021.

² Dati referiti al 2019.

il Movimento del Turismo del Vino. Nel quadro normativo nazionale, tuttavia, solamente nel 2017³ viene definito il termine enoturismo, facendo riferimento alle attività di conoscenza del vino quali visite, degustazione, commercializzazione delle produzioni aziendali ma anche attività didattiche e ricreative da svolgersi nell'ambito delle aziende vitivinicole stesse. Risulta quindi evidente il ruolo centrale che svolgono, direttamente, le aziende vitivinicole, le quali hanno la possibilità di ampliare le proprie attività andando oltre la produzione e commercializzazione ed aprendosi ai clienti finali, in cui rientrano certamente anche turisti e visitatori.

Nel panorama degli *stakeholder* del mercato di riferimento rientrano, oltre alle aziende vitivinicole, anche i Consorzi di tutela del vino, le Strade dei vini e le Enotecche Regionali. I Consorzi sono disciplinati a livello nazionale⁴ e, tra gli altri compiti, possono favorire e promuovere attività di promozione dell'enoturismo, in collaborazione con enti e organismi pubblici e privati. Le Strade del vino sono anch'esse disciplinate a livello nazionale⁵ e costituiscono uno strumento attraverso il quale i territori vinicoli e le relative produzioni possono essere divulgati, commercializzati e fruiti in forma di offerta turistica. Le Enotecche Regionali, invece, vengono definite dalla normativa delle singole regioni.

In Piemonte le Enotecche Regionali sono nate nel 1980⁶ con l'obiettivo di valorizzare e promuovere la vitivinicoltura piemontese, rappresentando per l'epoca delle strutture pionieristiche. Nel 2021 il legislatore regionale ha emanato una nuova disciplina⁷ che delinea un nuovo modello di promozione dei vini e della gastronomia del Piemonte, con l'obiettivo di promuoverne la conoscenza e la valorizzazione.

Il Piemonte sta puntando sempre più sull'enogastronomia e sull'enoturismo come uno degli *asset* della propria offerta turistica, dove, accanto a territori già affermati da anni a livello internazionale, ve ne sono numerosi altri con prodotti di eccellenza da far scoprire ad un pubblico sempre più ampio. Basti pensare che su 526 prodotti DOP/IGP/STG vitivinicoli in Italia oltre il 10% (59) sono legati al Piemonte, con un impatto

³ Legge 27 dicembre 2017, n. 205 "Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2018 e bilancio pluriennale per il triennio 2018-2020".

⁴ Legge 12 dicembre 2016, n. 238 "Disciplina organica della coltivazione della vite e della produzione e del commercio del vino".

⁵ Legge del 27 luglio 1999 n. 268 Disciplina delle "strade del vino".

⁶ Legge regionale 12 maggio 1980, n. 37 "Le Enotecche Regionali, le Botteghe del vino o Cantine comunali, i Musei etnografico-enologici, le Strade del vino".

⁷ Deliberazione della Giunta Regionale 15 gennaio 2021, n. 24-2775 "Approvazione della Disciplina delle Enotecche regionali, Botteghe del vino regionali, Cantine comunali e delle Strade del vino e del cibo del Piemonte, in attuazione dell'articolo 42 della legge regionale 22 gennaio 2019, n.1. Integrazione della DGR 18 ottobre 2019, n. 10 - 396".

economico stimato a livello regionale pari 1.235 milioni di euro; in termini di impatto economico legato al vino il Piemonte si trova al secondo posto in Italia, dopo il Veneto (ISMEA, 2022b).

Anche il territorio della provincia di Torino mira ad aumentare sempre più l'importanza del turismo enogastronomico, in generale, e dell'enoturismo, in particolare. Le quattro aree a maggior vocazione enologica sono il Canavese, la Collina Torinese, il Pinerolese e la Valsusa. Considerando l'importanza centrale che rivestono le aziende vitivinicole, per analizzare il ruolo dell'enoturismo in relazione alla promozione del territorio della provincia di Torino è stata condotta un'indagine a loro rivolta. Dal momento che la città di Torino accentra gran parte degli attuali flussi turistici provinciali, si è ritenuto utile indagare con le aziende di produzione anche l'utilità, dal loro punto di vista, di aprire in città un punto immagine dei vini e dell'offerta locale. Attualmente, infatti, la città è priva di uno spazio dedicato; l'Enoteca Regionale dei Vini della provincia di Torino ha sede a Caluso, territorio centrale nella produzione vitivinicola provinciale (basti pensare all'Erbaluce) ma distante (per ragioni logistiche, *in primis*) ai flussi turistici che si concentrano in città.

2 Metodologia

L'indagine rivolta alle aziende vitivinicole è stata condotta tramite somministrazione di questionari strutturati con metodologia CAWI – *Computer Assisted Web Interview*. Dal momento che l'indagine si concentra sul territorio della provincia di Torino, il database di contatti è stato elaborato facendo riferimento ai produttori associati all'Enoteca Regionale dei Vini della provincia di Torino ed ai produttori aderenti al progetto “Torino DOC” – progetto della CCIAA di Torino nato nel 2005 con l'obiettivo di promuovere la viticoltura torinese di qualità e, in particolare, i vini che superano la selezione enologica organizzata ogni due anni dall'ente camerale.

È stato così predisposto un *database* di 64 aziende vitivinicole con sede in provincia di Torino. Il questionario è stato inviato tramite mail alle aziende individuate, con il link per l'auto-compilazione online del questionario stesso. Per richiamare l'attenzione e l'importanza dell'indagine, sono stati effettuati due *recall*, sempre tramite mail.

Complessivamente sono stati raccolti 22 questionari validamente compilati, pari al 34% delle aziende contattate. L'indagine è stata effettuata nel periodo febbraio-marzo 2023. Il risultato in termini di rispondenti è stato ritenuto soddisfacente, considerando che tutte le aree di riferimento per la produzione vitivinicola della provincia di Torino sono adeguatamente rappresentate.

Il questionario è stato elaborato dal gruppo di ricerca, che include anche esperti del settore turistico e del settore vitivinicolo. Tra gli aspetti oggetto di indagine figurano le strategie di comunicazione e promozione impiegate, la proposta di attività turistiche a corollario dell'attività di produzione e vendita di vino, le iniziative di promozione in tema di enoturismo, il giudizio sull'utilità della presenza nella città di Torino di un punto immagine dei vini del territorio, la sostenibilità e le nuove tendenze di consumo.

3 Discussione dei risultati

Tutte le 22 aziende del campione producono vini ad Indicazione Geografica della provincia di Torino. Nell'arco temporale dei prossimi 3-5 anni, 8 aziende segnalano di avere in programma di incrementare il numero delle tipologie di vino da produrre e commercializzare.

I canali di vendita più utilizzati dalle aziende vitivinicole che hanno partecipato all'indagine sono la vendita diretta al cliente finale presso l'azienda, l'Ho.re.ca. (hotel, ristoranti, catering) e le enoteche; seguono i grossisti e rivenditori; meno utilizzati invece l'e-commerce ed i supermercati (Fig. 1). La vendita diretta al cliente finale è il canale che pesa maggiormente in termini di fatturato per le aziende del campione. In tema di strategie di comunicazione e promozione⁸, il passaparola tra clienti è ritenuta quella più importante da parte delle aziende vitivinicole, con un giudizio pari a 6,6 su una scala da 1 a 7. Seguono per livello di importanza l'aver un sito web di proprietà aziendale (5,2), i canali di social media e la partecipazione agli eventi ed alle fiere di settore (5,1). La stampa in cartaceo di materiale informativo e brochure aziendali ed il ricorso a nuovi strumenti digitali (quali ad esempio gli NFT) risultano essere tra le strategie di comunicazione e promozione meno significative ed impattanti. In tema di strumenti digitali, occorre tuttavia tenere in considerazione che si tratta di strumenti nuovi, ancora poco sfruttati e diffusi anche dalle aziende di dimensioni maggiori rispetto a quelle del campione e la cui conoscenza da parte delle aziende vitivinicole è, in generale, ancora poco diffusa.

⁸ Elenco di opzioni fornito nella relativa domanda del questionario.



Figura 1 – I canali di vendita maggiormente utilizzati dalle aziende vitivinicole del campione

Il 90% delle aziende vitivinicole del campione propone ai propri clienti ed ospiti delle attività turistiche (Fig. 2), non limitandosi quindi alla sola commercializzazione – in senso stretto - dei propri vini.



Figura 2 – Le attività turistiche proposte dalle aziende vitivinicole del campione

Le tipologie di esperienze⁹ più diffuse rientrano nella possibilità di effettuare visite in cantina e/o presso i vigneti di proprietà oppure prendere parte a degustazioni di vini aziendali. Seguono, a distanza, l'organizzazione di pranzi e cene con i vini dell'azienda ed i prodotti tipici del territorio, l'organizzazione di eventi a tema, la proposta di pacchetti esperienziali, i percorsi all'aperto per gli amanti delle passeggiate, delle escursioni in bicicletta oppure a cavallo, la proposta di visite turistiche del territorio, la possibilità per i clienti di partecipare alla c.d. vendemmia didattica. In questo elenco, tra le attività turistiche meno diffuse rientrano il pernottamento (per cui l'azienda vitivinicola dovrebbe essere struttura ricettiva) e la proposta di corsi di cucina. Nessuna delle aziende intervistate propone servizi spa/centro benessere.

Successivamente, è stato chiesto alle aziende vitivinicole di fornire un giudizio, su una scala da 1 a 7, in merito all'importanza ed all'utilità di alcune attività ed iniziative in ambito di promozione dell'enoturismo¹⁰, sulla base delle proprie esperienze ed opinioni (Fig. 3). Sotto questo punto di vista, l'aspetto ritenuto più significativo da parte delle aziende vitivinicole che hanno partecipato all'indagine è rappresentato dalla presenza dei vini del proprio territorio di riferimento presso la ristorazione locale, con un giudizio medio di 6,4. Ottengono giudizi medi compresi tra 5,4 e 5 iniziative quali la promozione tramite *social network*, la promozione da parte delle istituzioni locali legate ai settori del turismo e dell'enogastronomia, la promozione sui portali online dedicati al vino ed alla viticoltura, la commercializzazione di pacchetti turistici creati *ad hoc* da parte dei tour operator di settore, l'organizzazione di eventi all'interno del territorio di riferimento dei vini prodotti – ovvero la provincia di Torino – ed i percorsi di formazione specialistica per gli operatori – con l'obiettivo di migliorare la qualità dell'accoglienza turistica in cantina.

⁹ Elenco di opzioni fornito nella relativa domanda del questionario.

¹⁰ Elenco di opzioni fornito nella relativa domanda del questionario.



Figura 3 – Giudizi medi in termini di utilità delle iniziative di promozione dell'enoturismo (su scala da 1 a 7)

Scendendo in ordine di rilevanza dal punto di vista delle aziende vitivinicole del campione figurano, con giudizi medi compresi tra 4,9 e 4,5, l'organizzazione di eventi di promozione dei vini torinesi al di fuori della provincia di Torino, l'utilizzo di portali digitali dedicati alla promo-commercializzazione di vini ed esperienze enoturistiche. Ancora meno significative risultano essere la promozione su strumenti cartacei quali i giornali e le riviste e la promozione su mezzi di comunicazione quali radio e tv.

L'indagine rivolta alle aziende vitivinicole con sede in provincia di Torino ha posto particolare attenzione al tema dell'utilità di avere nella città di Torino un punto immagine dei vini del territorio. Gli intervistati hanno risposto in modo molto favorevole a questo aspetto, con un giudizio medio pari a 6,3 su una scala da 1 a 7. Le aziende vitivinicole del campione ritengono inoltre che le vie e le piazze del centro storico della città di Torino rappresentino il luogo ideale in cui aprire un punto immagine dedicato ai vini del territorio.

Scendendo maggiormente nel dettaglio, le aziende vitivinicole del campione ritengono che tra le attività¹¹ più importanti da svolgere presso un punto immagine di questo tipo debbano rientrare l'organizzazione di

¹¹ Elenco di opzioni fornito nella relativa domanda del questionario.

eventi mirati alla degustazione di vini e prodotti del territorio della provincia di Torino e la fornitura di informazioni di dettaglio sui vini prodotti, i territori vitati, le aziende vitivinicole del territorio. La degustazione e vendita dovrebbe riguardare in via prevalente non solo i vini ma anche i prodotti alimentari del territorio di riferimento della provincia di Torino. Da prendere in considerazione la possibilità di avere presso un punto immagine di questo tipo anche il servizio di consegna a domicilio dei vini e dei prodotti acquistati.

Considerando lo stretto legame tra un punto immagine dei vini del territorio e la promozione, più in generale, dell'enoturismo, il gruppo di ricerca ha deciso di includere nel questionario la richiesta alle aziende vitivinicole di valutare, su una scala da 1 a 7, l'utilità dal proprio punto di vista di una serie di attività¹² che potrebbero essere svolte presso il punto immagine dei vini oggetto di analisi (Fig. 4). Dall'analisi dei dati raccolti emerge che le aziende vitivinicole ritengono in media molto rilevanti tutti gli aspetti di interesse: la fornitura di informazioni sui servizi specifici per l'enoturismo (ad es. visite vigneti e cantine, degustazioni, esperienze, pacchetti di più giorni); l'organizzazione di iniziative ed eventi di promozione vitivinicola rivolte ad operatori di settore, giornalisti, ecc.; l'organizzazione di iniziative ed eventi di promozione vitivinicola rivolte agli amanti del vino; il coinvolgimento di produttori, esperti, opinion leaders in occasione di eventi ed iniziative; la fornitura di informazioni turistiche sui territori di provenienza dei vini proposti; il servizio di prenotazione e vendita di servizi specifici per l'enoturismo (ad es. visite vigneti e cantine, degustazioni, esperienze, pacchetti di più giorni).

¹² Elenco di opzioni fornito nella relativa domanda del questionario.

Attività da svolgere presso un "punto immagine, degustazione e vendita"
con riferimento all'enoturismo



Figura 4 – Giudizi medi per utilità delle attività da svolgere con riferimento specifico all'enoturismo presso un "punto immagine, degustazione e vendita" dei vini del territorio a Torino (su scala da 1 a 7)

In chiusura del questionario il gruppo di ricerca ha incluso alcune domande per indagare elementi di interesse generale, i quali hanno, direttamente o indirettamente, delle ricadute anche in termini di enoturismo e di promozione dello stesso. Si tratta in particolare dei cambiamenti climatici, delle certificazioni sulla sostenibilità della filiera vitivinicola e delle tendenze di consumo in via di affermazione.

Il campione di aziende vitivinicole esprime giudizi elevati in termini di preoccupazione per gli effetti dei cambiamenti climatici sulla propria attività, con metà del campione che esprime un livello di preoccupazione estremamente elevato.

In linea con i dati sul livello di preoccupazione espresso, si rileva che le aziende vitivinicole che hanno aderito all'indagine adottano, nella maggior parte dei casi, un sistema di certificazione sulla sostenibilità della filiera vitivinicola, a cominciare da quelle legate alle produzioni biologiche. Inoltre, le aziende che attualmente non hanno ancora una certificazione di questo tipo dichiarano di essere intenzionate ad adottarla entro i prossimi 3-5 anni.

Rimanendo nell'ambito del più generale tema della sostenibilità, negli ultimi anni le aziende vitivinicole del campione hanno rilevato un'attenzione sempre crescente da parte dei consumatori alle produzioni biologiche ed all'aumento dell'interesse dei prodotti locali e dei prodotti a km0.

4 Conclusioni

Per le aziende vitivinicole le attività enoturistiche sono spesso secondarie rispetto alla produzione del vino ed alla coltivazione della vite; tuttavia, i produttori vitivinicoli svolgono un ruolo chiave nello sviluppo dell'enoturismo e nella creazione di esperienze di qualità; per le piccole imprese, inoltre, l'enoturismo può rappresentare un'attività di marketing ed uno strumento di promozione (Sevil, 2009).

La possibilità per i visitatori di effettuare attività presso le cantine che vadano oltre le visite e degustazioni, anche in collaborazione con gli altri operatori e professionisti del settore turistico presenti sul territorio, rappresenta un elemento di rilievo poiché il turista enogastronomico è sempre più interessato alla possibilità di effettuare attività collaterali a quelle strettamente legate al vino. Il relax e lo svago sono infatti le preoccupazioni principali per gli enoturisti, che sono aperti ad imparare nuove cose e ad incrementare le proprie conoscenze sul vino, a patto che vengano ben comunicate (Rudiger, 2015).

Tra i canali di vendita prevalenti per le aziende vitivinicole del campione figura la vendita diretta ai clienti finali, in cui è possibile includere anche gli enoturisti. La pandemia non sembra aver influito negativamente sui consumi di vino, come registra un'indagine condotta tra una platea di consumatori in Francia, Italia, Portogallo e Spagna, dalla quale emerge che i consumatori hanno prevalentemente mantenuto o incrementato la propria frequenza di consumo, rispetto a quanto avvenuto per altri alcolici come la birra o gli spiriti (Dubois, 2021).

Tra le attività di promozione dell'enoturismo ritenute essere più importanti per le aziende vitivinicole del campione figura la presenza dei vini del territorio presso i ristoranti locali. A questo proposito è interessante sottolineare come i consumatori più giovani, in generale, consumino il vino fuori casa, mentre socializzano (Martinho, 2021). Anche l'utilizzo dei social media è ritenuto essere importante dalle aziende del campione. A questo proposito, a livello generale, è però utile richiamare il fatto che per ottenere dei risultati rilevanti da questi strumenti di comunicazione è necessario definire una strategia, aspetto che non sempre viene percepito come elemento chiave da parte delle aziende vitivinicole, come dimostrano i risultati di un'indagine condotta tra aziende vitivinicole in Alsazia (Francia), dove la maggior parte delle aziende utilizza i social network ma risulta spesso assente un allineamento a livello strategico (Haller, 2021).

In tema di sostenibilità, è stata messa in evidenza la preoccupazione da parte delle aziende del settore vitivinicolo per i cambiamenti climatici. Sotto questo aspetto, i vini ad Indicazione Geografica, il cui peso è rilevante in Piemonte, sono considerati i più sensibili ai cambiamenti climatici, a

causa della relativa normativa che ne regola le caratteristiche; un'indagine tra i produttori francesi delle aree di Anjou e Alsazia mette evidenza che le aziende stanno sperimentando le proprie pratiche di coltura in modo da rendere i propri vini resistenti al cambiamento ed allo stesso tempo capaci di continuare ad esprimere il proprio *terroir* e le proprie qualità (Teil, 2020).

Dalla parte dei consumatori, una delle tendenze segnalate è la sempre maggior attenzione proprio al tema della sostenibilità. Questo aspetto viene richiamato anche in letteratura. I risultati di uno studio condotto tra i consumatori di vino in Australia mostrano che i consumatori spesso acquistano prodotti rispettosi dell'ambiente, con una disponibilità a pagare una maggiorazione per vini organici, naturali, etc. (Gow, 2022). Lo stesso studio mette in luce che i principali fattori che influenzano l'acquisto di vini certificati sono le precedenti esperienze di acquisto di questi prodotti e l'età. A questo proposito, è interessante notare come siano i millennials, ovvero i nuovi consumatori di vino, ad attribuire un valore particolare nelle scelte di acquisto proprio all'impronta ecologica delle produzioni, come dimostra un'indagine condotta tra i millennials in Italia (Gallenti, 2019). A conclusioni simili, sempre con riferimento al mercato italiano, giungono anche Gazzola (2022). Questa importanza si traduce anche nella disponibilità a pagare un extra per i vini biologici ed organici rispetto ai vini prodotti con metodi convenzionali (Scozzafava, 2021). Un elemento positivo emerso dall'indagine condotta tra le aziende vitivinicole della provincia di Torino è quindi il fatto che la maggior parte di esse possiede già una certificazione di sostenibilità o abbia intenzione di introdurla entro pochi anni. Sotto questo profilo è utile richiamare che da un'indagine condotta tra le aziende vitivinicole in Germania per analizzare l'attrattiva turistica si evince che l'utilizzo di certificazioni sostenibili può rappresentare un *unique selling point*, un elemento distintivo, anche se risulta evidente che le aziende vitivinicole non sanno ancora sfruttare a pieno queste possibilità (Szolnoki, 2022). Alcuni autori, poi, in seguito ad una ricerca condotta nella regione di Alentejo in Portogallo arrivano a sostenere che la sostenibilità ambientale nella viticoltura dovrebbe essere considerata come una nuova prospettiva strategica da includere nell'approccio *Balanced Scorecard* (Gomes, 2021). I risultati di alcuni studi dimostrano che più un consumatore è aperto all'innovazione nella produzione vitivinicola più è consapevole in tema di protezione dell'ambiente, rappresentando quindi un segmento specifico che dovrebbe essere tenuto in considerazione da parte delle aziende (Rabadán e Bernabéu, 2021).

Tutti questi elementi sono certamente di interesse nell'ambito di progettualità volte all'apertura di un punto immagine dei vini della provincia di Torino ed alle relative attività di promozione e valorizzazione del-

l'intera filiera enoturistica e gastronomica del territorio di riferimento, prendendo quindi in considerazione anche le esperienze che il turista può vivere direttamente presso le aziende vitivinicole il cui coinvolgimento, come visto, è di vitale importanza per lo sviluppo di prodotti turistici legati al vino.

Come il settore del turismo più in generale, anche il settore dell'enoturismo è composto da una molteplicità di *stakeholder* (Anastasiadis, 2021), pubblici e privati, che devono collaborare per una migliore organizzazione dell'offerta turistica dedicata e per perseguire attività efficienti ed efficaci. Il problema del coordinamento e della collaborazione tra i diversi *stakeholder* del settore del turismo del vino è emerso anche da un'indagine condotta tra i viticoltori tedeschi (Tafel, 2021). Considerando poi il ruolo centrale che svolgono le aziende vitivinicole, è necessario che vengano coinvolte direttamente nelle progettualità territoriali, per incrementare le potenzialità di successo delle stesse in ottica di sviluppo del turismo locale (Chiodo, 2020).

Si tratta di un aspetto di vitale importanza e che risulterà essere necessario gestire anche in ambito del territorio della provincia di Torino; in questo contesto, la presenza di un punto di immagine dei vini del territorio potrebbe rappresentare un elemento utile ai fini del coordinamento, dovendo necessariamente interfacciarsi primariamente con le aziende vitivinicole ma anche con tutti gli altri *stakeholder* che, sul territorio, si occupano di promozione e valorizzazione dell'enoturismo in provincia di Torino.

Un punto immagine dei vini del territorio, giudicato positivamente dalle aziende vitivinicole del campione, può rappresentare per queste ultime uno strumento di contatto e comunicazione da utilizzare per la valorizzazione delle proprie produzioni enologiche. La dislocazione in chiave strategica nel centro storico di Torino dà loro la possibilità, inoltre, di raggiungere un maggior numero di potenziali clienti, siano essi residenti, lavoratori di passaggio oppure turisti. Il giudizio favorevole da parte delle aziende vitivinicole si può legare in parte al fatto che, per certi aspetti, un punto immagine di questo tipo è paragonabile ad una enoteca dedicata ai vini del territorio della provincia di Torino; l'enoteca rappresenta per le aziende vitivinicole uno dei canali di vendita principali, sulla base dei dati raccolti dal campione.

Inoltre, la creazione di un luogo di questo tipo in cui promuovere e commercializzare i prodotti del territorio, organizzando anche iniziative ricreative e di approfondimento, può rappresentare un elemento rilevante in chiave turistica per la promozione della tradizione e dei prodotti enogastronomici della provincia di Torino.

Bibliografia

- ANASTASIADIS, F., ALEBAKI, M. (2021). Mapping the Greek Wine Supply Chain: A Proposed Research Framework. *Foods*, 10, 2859. <https://doi.org/10.3390/foods10112859>
- BRÁS, S., BRAGA, J.L., BORGES, I., SILVA, A., MOTA, C., LEITE, S. (2023). Wine Tourism as a Promoter of the Sustainability of the Destination: The Case of Celorico De Basto, *Smart Innovation, Systems and Technologies*, Volume 345, 711 – 722, International Conference on Tourism, Technology and Systems, ICOTTS 2022 Santiago3 November 2022 through 5 November 2022, 10.1007/978-981-99-0337-5_57
- CHiodo, E., Giordano, L., Tubi, J., Salvatore, R. (2020). Wine Routes and Sustainable Social Organization within Local Tourist Supply: Case Studies of Two Italian Regions, *Sustainability* 2020, 12, 9388; doi:10.3390/su12229388
- CITTÀ DEL VINO – ASSOCIAZIONE NAZIONALE. (2020). XVI Rapporto sull' enoturismo, <<https://www.cittadelvino.it/articolo.php?id=NTAyMQ==>>
- DUBOIS, M. (a cura di) (2021). Did Wine Consumption Change During the COVID-19 Lockdown in France, Italy, Spain, and Portugal?, *Journal of Wine Economics*, Volume 16, Number 2, 2021, Pages 131–168, doi:10.1017/jwe.2021.19
- GALLENTI, G., TROIANO, S., MARANGON, F., BOGONI, P., CAMPISI, B., COSMINA, M. (2019). Environmentally sustainable versus aesthetic values motivating millennials' preferences for wine purchasing: evidence from an experimental analysis in Italy, *Agricultural and Food Economics* (2019) 7:12, <https://doi.org/10.1186/s40100-019-0132-x>
- GAZZOLA, P. (a cura di) (2022). Italian wine sustainability: new trends in consumer behaviors for the millennial generation, *British Food Journal*, Volume 124, Issue 11, Pages 4103 - 41211 November 2022
- GOMES, M.J., SOUSA, A., NOVAS, J., JORDÃO, R.V.D. (2021). Environmental Sustainability in Viticulture as a Balanced Scorecard Perspective of the Wine Industry: Evidence for the Portuguese Region of Alentejo. *Sustainability* 2021, 13, 10144, <https://doi.org/10.3390/su131810144>
- GOW, J., RANA, R.H., MOSCOVICI, D., UGAGLIA, A.A., VALENZUELA, L., MIHAILESCU, R. AND COELLI, R. (2022). Australian consumers and environmental characteristics of wine: price premium indications, *International Journal of Wine Business Research*, Vol. 34 No. 4, pp. 542-566, <https://doi.org/10.1108/IJWBR-04-2021-0024>

- HALLER, C., PLOTKINA, D., VO-THANH, T. (2021). Social Media Use of Small Wineries in Alsace: Resources and Motivations Analysis, *Sustainability* 2021, 13, 8149. <https://doi.org/10.3390/su13158149>
- ISMEA – ISTITUTO DI SERVIZI PER IL MERCATO AGRICOLO ALIMENTARE. (2022a). L'Italia del vino: un primato ancora incompiuto, Milano Wine Week, 14 ottobre 2022, presentazione di Tiziana Sarnari <<https://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/12296>>
- ISMEA – ISTITUTO DI SERVIZI PER IL MERCATO AGRICOLO ALIMENTARE. (2022b). Rapporto ISMEA - Qualivita 2022 sulle produzioni agroalimentari e vitivinicole italiane DOP, IGP e STG <<https://www.qualivita.it/attivita/rapporto-isMEA-qualivita-2022/>>
- MARTINHO, V.J.P.D. (2021). Contributions from Literature for Understanding Wine Marketing. *Sustainability* 2021, 13, 7468. <https://doi.org/10.3390/su13137468>
- RABADÀN, A., BERNABÉU R. (2021). An approach to eco-innovation in wine production from a consumer's perspective, *Journal of Cleaner Production* 310, 127479, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127479>
- RUDIGER, J., HANF, J.H., SCHWEICKERT, E. (2015). Expectations of enotourists in Germany, *Berichte uber Landwirtschaft*. 93 (2)
- SCOZZAFAVA, G., GERINI, F., BONCINELLI, F., CONTINI, C., CASINI, L. (2021). How much is a bottle of conventional, organic or biodynamic wine worth? Results of an experimental auction, *Food Quality and Preference* 93 (2021) 104259, <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104259>
- SEKHNIASHVILI, G., BUJDOSÓ, Z. (2023). Developing a Wine Tourism Destination Image Measurement Scale, *Sustainability*, Volume 15, 8549, [10.3390/su15118549](https://doi.org/10.3390/su15118549)
- SERRA-CANTALLOPS, A., RAMÓN-CARDONA, J., VACHIANO, M. (2021). Increasing Sustainability through Wine Tourism in Mass Tourism Destinations. The Case of the Balearic Islands. *Sustainability*, 13, 2481, <https://doi.org/10.3390/su13052481>
- SEVIL, G., YUNKU, H.R. (2009). Wine producers perceptions of wine tourism, *Tourism*, 57 (4), pp. 477-487
- SZOLNOKI, G., TAFEL, M. (2022). Environmental Sustainability and Tourism—The Importance of Organic Wine Production for Wine Tourism in Germany, *Sustainability*, MDPI, vol. 14(19), pages 1-12.
- SZOLNOKI, G., BAIL, S. TAFEL, M., FEHER, A., VEITH, C. (2022). A Cross-Cultural Comparison of New Implemented Sustainable Wine Tourism Strategies during the COVID-19 Crisis, *Sustainability*, 14, 4688, <https://doi.org/10.3390/su14084688>

- TAFEL, M.C., SZOLNOKI, G. (2021). Relevance and challenges of wine tourism in Germany: a winery operators' perspective, *International Journal of Wine Business Research*, Vol. 33 No. 1, pp. 60-79. <https://doi.org/10.1108/IJWBR-11-2019-0059>
- TEIL, G. (2020). Adaptation to the recent changes in wines from PDO vine-growers' and wine-makers' point of view. A survey in Anjou and Alsace, France, *Cahiers Agricultures Open Access Volume 29 2020 Article number 2020009*
- UNWTO – WORLD TOURISM ORGANIZATION. (2019). *UNWTO Tourism Definitions*, UNWTO, Madrid, DOI: <https://doi.org/10.18111/9789284420858>.

Successful factors of the European Union Renewable Energy Communities: an overview

Leonardo Orsitto

Università di Foggia

Melania Riefolo

Università di Foggia

Mariarosaria Lombardi

Università di Foggia

Nicola Faccilongo

Università di Foggia

ABSTRACT

In line with the international environmental policies, the European Commission issued in 2019 the Green Deal, a strategy for making Europe climate-neutral by 2050, through the shift from fossil to renewable energy sources (RES). Besides, the recent geopolitical dynamics have highlighted a growing need to review and overcome traditional energy supply models, focusing mostly on innovative ones based on RES self-production and energy consumption, i.e., renewable energy communities (RECs). These are new forms of community entrepreneurship in the energy sector, based on a social innovation approach able to promote a democracy process to ensure environmental and economic benefits to the whole community by directly involving their citizens. Thus, their implementation may represent specifically an opportunity for the development of inner areas, territories characterized by many socio-economic problems. Indeed, the Italian Recovery Plan, through the Mission 2.C.2, has allocated almost EUR 2.20 billion to increase the RECs' realization, mainly for municipalities with fewer than 5 000 inhabitants, typically located in rural areas. In this perspective, the present paper provides an overview of the critical successful factors of the existing renewable energy communities in the European Union. To do this, the authors conducted a systematic literature review, using Scopus and the PRISMA diagram that has included, among the 315 articles identified, 80 studies according to authors' criteria. The results could be useful information for policy makers to identify which RECs' structure, replicable and scalable, best suits the Italian rural areas and specifically the inner ones.

KEYWORDS: Renewable energy communities, rural areas, inner areas, endogenous development, social innovation, community entrepreneurship.

1 Introduction

To implement the United Nations 2030 Agenda, the European Commission (EC) issued, in 2019, the Green Deal, a strategy for making Europe climate-neutral by 2050. Among the identified priorities, the shift from fossil to renewable energy sources (RES) was considered the main strategy for decarbonizing the EU's energy system, as over 75% of the EU's GHG emissions come from the production and use of energy (European Commission, 2019). In this framework, the temporary financial mechanism "Next Generation EU", issued in 2021 during COVID-19 pandemic, has allocated EUR 290 billion for green policies (European Union, 2021). The Next Generation Italy, for example, has assigned EUR 23.7 billion for increasing RES share. Specifically, almost EUR 2.20 billion was assigned for the Renewable Energy Communities' (RECs), mainly for municipalities with fewer than 5 000 inhabitants, typically located in rural areas (Governo Italiano, 2021). The RECs, defined by the EU Renewable Energy Directive 2018/2001 (RED II), are a "coalition of users", majority owned by local members or shareholders, entitled to produce, store and/or distribute energy, according to the mutualistic needs for reducing costs and consumption efficiency (European Union, 2018; Hoicka et al., 2021). In other words, users join together in the form of a business with the aim of managing a local energy system. In this way, the users become a "prosumer" as they both produce, store, and sell renewable energy (Iazzolino et al., 2022: 112929). Therefore, RECs represent a new organization of energy distribution, seen as a "bottom-up social innovation practice" (Tricarico, 2015).

In the middle of 2022, the EU Parliament has funded two projects for fostering the dissemination of REC best practices and offering technical assistance for its concrete development. One of this, the Rural Energy Community Advisory Hub, provides actions for identifying best practices, concerning support frameworks for rural energy community projects, with close involvement of local authorities (European Commission, 2023a). To date there is not a EU official RECs' map yet (European Commission, 2023b) but the evolution trend is surely positive. The Italian Energy System Operator has, indeed, communicate that, in the last three years, 25 RECs have been realized in the national territory (Arrigoni, 2023).

In this perspective, the present paper aims to present an overview of the critical successful factors of the existing EU RECs to identify which RECs' structure, replicable and scalable best suits the Italian rural areas and specifically the inner ones. These latter are characterized by constant demographic decline and population aging. To do this, the authors conducted a systematic literature review (SLR), using Scopus, as Elsevier indexed database, and the PRISMA model, as diagram to depict the flow of infor-

mation through the different phases of a systematic review. The results could represent an additional source of information both for the EU policy makers and for the local authorities and relevant stakeholders, who must face with the possible critical issues in the RECs' implementation in inner areas.

2 Methodology

The authors have conducted a SLR, a methodology to answer research question collecting and examining the most important studies in a certain area (Snyder, 2019: 333-339). Moreover, the authors have used the PRISMA (Preferred reporting Items For systematic Reviews and Meta-Analyses) model to identify, select, appraise, and synthesize minimum set of items (Page, 2021: 105906). The authors have conducted structured TITLE-ABS-KEY research on Scopus (Elsevier indexed database), due to its reliability, entirety, and high quality in the field of academic research. The authors have limited the literature review to peer reviewed articles and review published until May 2023. Concerning the keywords, the authors have used the search terms: “Renewable energy community”, after connected with AND “features”, AND “optimal”, AND “factor”. The data resulting was collected in Microsoft Excel sheet, including authors, source title, years of publications, references, cited numbers and DOI (digital objected identifier). As mentioned above, the data collected has been reported in a PRISMA chart [Fig. 1]. Afterwards, the identified papers have been fully reviewed to have the certain of their coherence with the systematic review objectives.

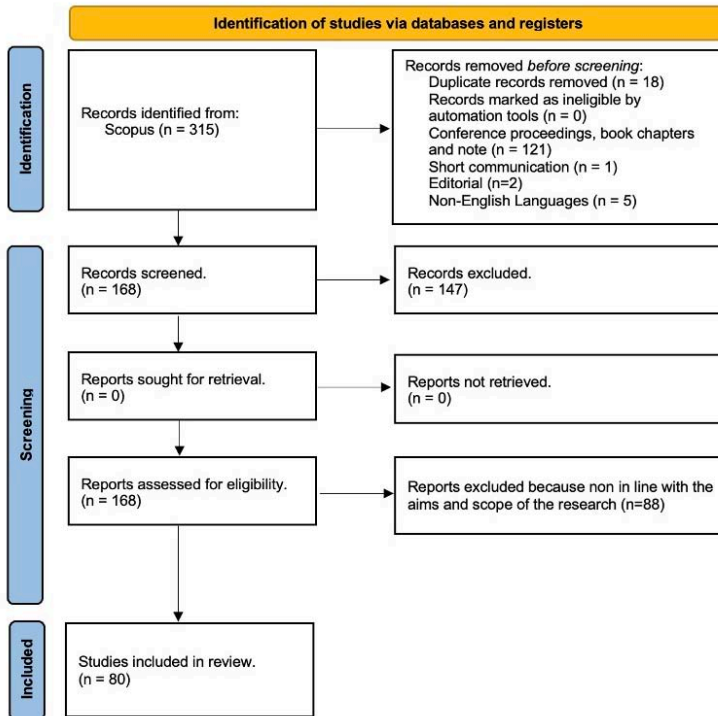


Figure 1 – PRISMA model for the systematic review

Source: Page at al. (2021)

Figure 1 sets out 315 records identified for data analysis. The authors have excluded most of these according to the selected criteria adopted. For this reason, there were excluded 147 studies because duplicate records (n=18), conference proceedings, book, chapters and note (n=121), editorial or short communication (n=8) and non-English languages paper (n=5). Therefore, the authors screened and next fully analyze 168 articles. As a results, there were included 80 articles for in-depth review, excluding 88 studies because not in line with the scope and purposes of the SLR.

3 Results and Discussion

3.1 Results

This section includes the quantitative (descriptive analysis) and qualitative (textual analysis) findings of the SLR. As concerns the descriptive

approach, the first two articles, edited on SCOPUS, were published in 2015. Hereafter, the academic research, on this topic, had a strong increase until the first six months of 2023 (15), reaching the peak in 2022 (32), more than double that of the previous year. Thus, the literature has been very productive in the rest of current year the literature given the constant curve growth, as shown in figure 2.

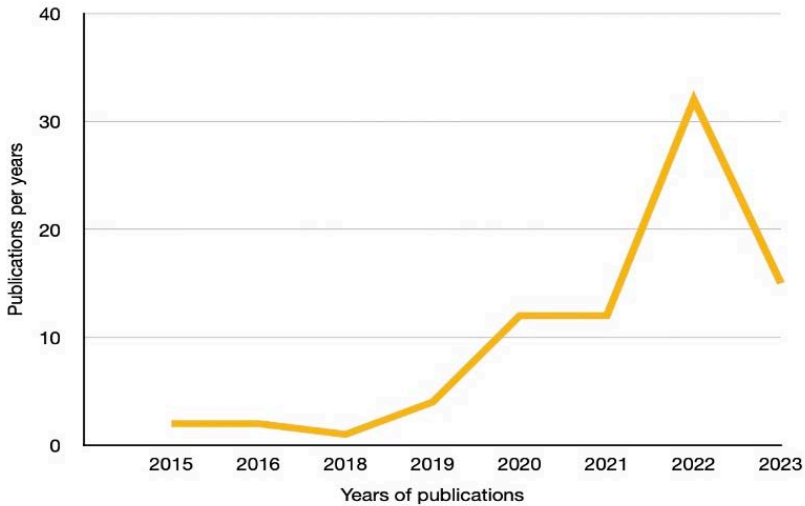


Figure 2 – Trend of publications on REC's (2015-2023)

From the geographical perspective, figure 3 shows the number of contributions published according the first authors' affiliation. Only countries with at least five publications were extracted from the dataset to highlight the national interest and expertise on this subject matter. The results demonstrate that Italy, with 29 contributions, has the highest numbers of scholars who have published on REC's topic, followed by Germany, with 12 articles, and then Netherlands and Austria with eight publications. Also, in collaboration with Europe institutions, American authors appear quite interested in studying solutions to involve citizens in renewable energy production.

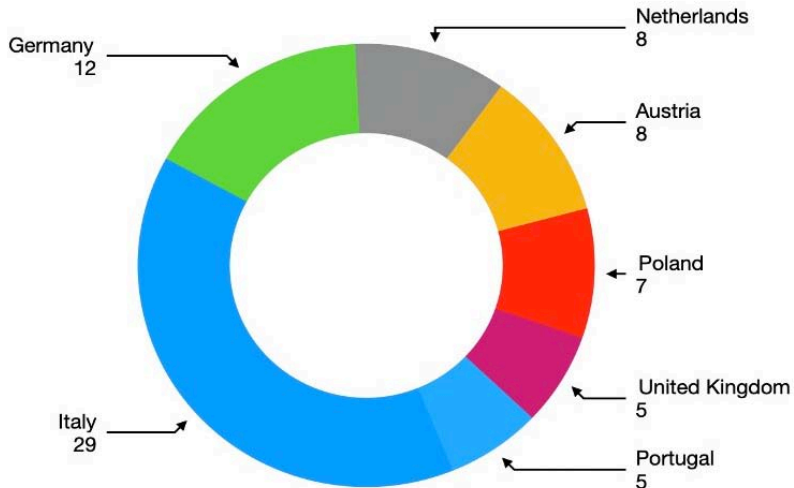


Figure 3 – Corresponding authors' geographical affiliation per article

Another analysed element was the common keywords used by the authors to classify their articles, which underline the most critical areas in this domain. The use of VosViewer software facilitated the aggregation of similar keywords into two main clusters, resulting in the creation of a map based on the Scopus database. This map utilized occurrences to indicate how often keywords appeared together in articles, with the author's keywords serving as the unit of analysis (Krug et al. 2022). Only papers in which keywords appear five times at least were included, coming up with five keywords. The most frequent keywords, represented graphically by points with larger diameters, belong to the cluster and are "citizen energy community" (with 42 occurrences) and "energy transition" (with 34 occurrences), showing the important role of citizens in RECs' adoption and energy transition Fig. 4.

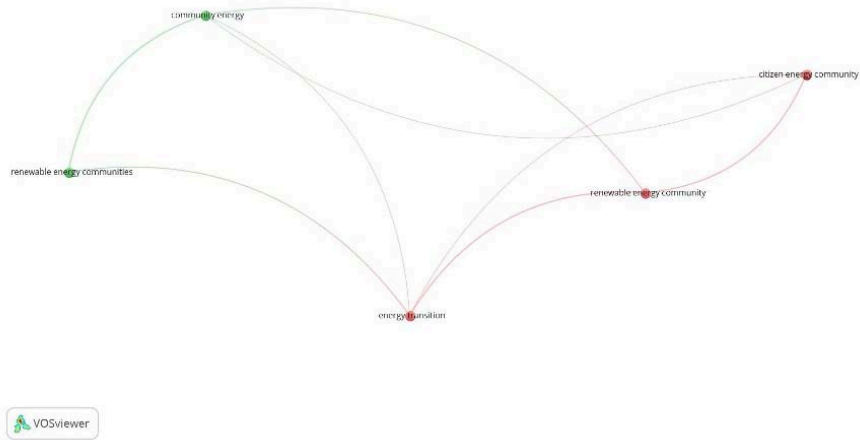


Figure 4 – Occurrence’s keywords

By focusing on identifying journals with the highest number of contributions, we classified those that exhibit the highest interest in publishing articles on RECs, in line with Bux et al., (2022) bibliometric analysis framework. This categorization aimed to denote their respective levels of specialization in this subject. This classification aimed to denote their respective levels of specialization in this subject. Likewise, the clustering was done using VOSviewer, generating an overlay visualization built on Scopus dataset. To gain a precise overview of the journals’ impact, only those with a minimum of five published documents were included in the extraction. This criterion resulted in four main sources (Energies above all), indicating their annual publication rate specified by different colours as demonstrated in the caption of figure 5.

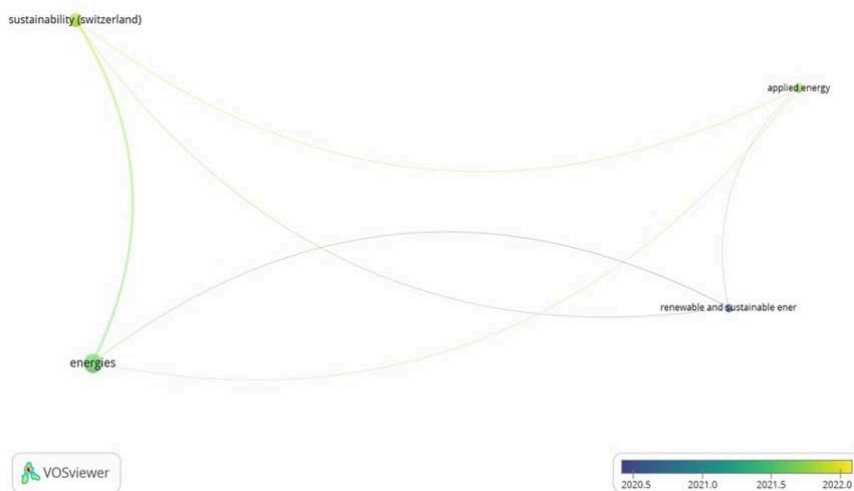


Figure 5 – Overlay visualization of journal publication

Finally, according to a textual analysis, it has been then possible to provide a clustering of the selected articles in four main groups, each of them identifying the main successful factors for a EU REC. As shown in the table 1, they are the following: i) ex-ante evaluations, simulations, and planning; ii) technological factors; iii) local communities; and iv) political support.

Main successful factors	Number of articles
Local communities	21
Ex-ante evaluation, simulation and plan	15
Technological factor	11
Political support	8
<i>Total</i>	55
Other minor factors (not considered)	25
Total	80

Table 1 – Successful factors identified for RECs

3.2 Discussion

Local communities

The role of communities in RECs should not be underestimated, as most result from a bottom-up approach led by citizens seeking a more democratic and inclusive energy transition (Becker et al. 2017: 25-36; Szulecki, 2017: 21-41).

Therefore, academic literature has begun examining citizen motivations and concluded that RECs matter for their *use-value* and *non-use value*. Specifically, the former relates to selling energy to a diverse consumer base, while the latter comes from addressing key social concerns in the environment (Lombardi et al, 2022). In this way, RECs appear to be multifaceted, encompassing social, environmental, technological, political, and economic reasons (Ntanos et al. 2018: 687).

In the work of Hicks & Ison (2018), the environmental protection achieved with the use of RECS is the most important attractive reason for citizens. However, individual characteristics also affect the willingness to take part in RECs: it seems that those who have higher education (Fina & Auer, 2020: 43-57), higher income, and even female gender (Wang, 2022: 552-563) are the most willing to invest in REC projects. Likewise, other authors found that the impact of financial concerns, subsidies, and incentives considerably encourage their participation in RECs implementation (Cohen et al. 2021: 105386; Fleiß et al. 2017: 920-927; Hanke & Lowitzsch 2020: 1615; Hartmann & Palm 2023: 1027148).

The RECS attractive factor to citizens is also due to the responsive role of RECs to local issues that, overcoming the mere environmental question, represent a fundamental bedrock of social innovation (Seyfang & Smith 2007: 548-603) and a combination of the collective and public interests. Specifically, the figure of *the prosumer in RECs* directly and actively involves citizens in the recovery of territorial social issues that have affected inner areas for a long time, such as isolation, deprivation of capabilities and energy poverty. Nevertheless, RECs' application is not so straightforward. It requires the implementation of a specific "enabling framework" (Hartmann, 2023: 1027148) by policymakers with the goal of reducing bureaucracy, stating the main regulatory elements, and planning specifically the subsidies for the joiners. This framework must be tailored to the territorial context in which RECs are planned to come, meaning that policymakers must understand the difficulties hindering their participation (Lavrijssen, 2014: 257-291), such as individual physical and mental disabilities that tackle the access to information (e.g., internet access, walking to a library, knowledge of ICT infrastructure) and, likewise, economic disability. Also, market vulnerabilities and discriminating systems (e.g., inconsistent information of different market offers, high complexity) must be considered.

Besides the responsive role to the social issues, social innovation also occurs in RECs by engaging different social actors' networks and spurring the development of new practices and patterns, which lead to the technological progress with a final contribution to the energetic transition.

This social innovation is facilitated by prosumers that start to change their behaviours by actively participating in sustainable energy production, with a consequential development of a new social paradigm replacing carbon lock-in social structures (Hoppe et al., 2015: 1900-1931; Arentsen & Bellekom, 2014: 1-12; Soares da Silva & Horlings, 2020: 363-377).

Considering the high commitment of participants, RECs create a powerful community feeling that encourages people to join this group to the point of causing a lock-in effect, where people become reluctant to change to new/other solutions (Kubli & Puranik 2023: 113-165).

According to Haf & Robison, 2020 citizens' commitment to RECs can occur in different ways as community and cooperative energy projects, public activism and campaigning, and local authority and citizen collaborations. Moreover, the direct commitment of local community has several positive aspects such as:

- Speed. Involving and actively engaging citizens is a quick response to the energy transition, as their skills, abilities, and knowledge of local resources can find cheaper solutions and reduce the cost of the transition (Constable, 2022).
- Addressing interlinked social issues. Their direct commitment allows for shaping energy transition in the function of citizens' goals, needs, and aspirations (Murphy & Smith 2013: 691-709) and addressing poverty, well-being, health, and other social issues (Kellett, 2007: 381-396).
- More democratic. Citizens become the centre of the energy transition and engage actively as participants and leaders, meaning RECs are pursued by themselves (Willis. & Willis, 2012).
- Collaboration and raise public awareness. Citizens start collaborating with local authorities and external actors, facilitating the energy transition. From that, citizens can raise public awareness of a particular matter, including understanding the (collective) need for action (Eckersley, 2018).

Ex-ante evaluations, simulations, and planning

Production models, energy sharing, and self-consumption of renewable energy, with direct citizen involvement, offer a significant opportunity to support green energy production and alleviate energy poverty. Nevertheless, as revealed by the literature review, the creation of RECs faces various

challenges right from the initial planning stage. Therefore, it is indispensable to carefully address the phases preceding the actual formation of these communities, also because RECs creation process requires various phases involving different stakeholders and aspects along these paths (Krug et al. 2022: 71-81). Efthymiou et al. (2022) present a working methodology to facilitate the decision-making process for community construction, studying a Greek project. They analysed steps starting with identifying potential sites for installing photovoltaic systems, then moving on to SWOT integrating the economic, environmental, and social benefits. The importance of conducting preventive analysis and simulations in RECs projects is also highlighted in the work of Mutani & Usta (2022), where the authors examined various alternative scenarios, supported by quali-quantitative and technological statements, hypothesizing the community with a typical residential condominium in Cagliari (Italy). The scenario initially assessed the amount of energy produced and distributed among the eight residents of a building, and in a second phase, expanded the simulation to include two additional nearby condominiums. Scientific literature often highlights the importance of economic feasibility assessments for energy communities, considering the limited spending capacity of citizens. Fina et al. (2022) proposed an optimization and cost reduction model for citizens. This latter integrates various technologies, such as rooftop photovoltaic panels, energy storage batteries, residential heat pumps, and electric vehicles, which interact to maximize the use of the produced renewable energy, creating a tangible economic and environmental impact. The model allows citizens to evaluate their participation in the community while simultaneously it determines the optimal solution for the entire community, optimizing cost and investments in infrastructure. Similarly, Marrone et al. (2023) also conducted their study toward a proactive approach, involving preventive analysis, planning, and preliminary assessments preceding the effective implementation of RECs. Initially, they presented a feasibility study for a REC, simulated across three distinct neighbourhoods in Rome (Italy). This involves devising multiple scenarios, including different variables, such as estimating energy demand based on user profiles and regional characteristics. They further considered the utilization of photovoltaic technology, which covers 60% of the rooftop area, in accordance with the regulatory limits outlined in RED II. Closely related is the theme of ideating sustainable business models introduced by Mihailova et al. (2022). Considering citizens as prosumers emphasize the need to devise new business models adaptable to energy communities, where the citizen is not just a user and beneficiary, but an integral part of a sustainable innovation process, transitioning to a “user-centric” perspective. Consequently, during the planning phase, it is crucial to consider that the business model for RECs is not based on a unidirectional value production

process but rather on the result of a co-creation process among different stakeholders united by a common purpose. Then, three case studies on this topic in Europe (Netherlands, Finland, Switzerland) were presented. Also, Chaudhry et al. (2022) emphasized the importance of RECs organizational structure. Using a multi-disciplinary approach, they asserted that the consumer stock ownership plans is one of the models that best meets the RED II requirements. Indeed, this financing method allows for significant future project gains and substantial savings in the initial investment for prosumers. Furthermore, it stimulates strong collaboration among future prosumers. Still, Volpato et al. (2022) drafted a set of economic guidelines to optimize the aggregation and operation of prosumer citizens with different profiles of energy conversion and demand. In this case, the work was conducted by integrating three fundamental aspects into the preliminary assessments: complementarity (meaning the optimal coupling of different energy generation and demand profiles), the criterion for allocating costs/revenues of RECs, and the demand response strategies presented years earlier by Lund et al. (2015). The simulations were carried out by analysing three different aggregations, using the residential prosumer as the reference profile paired with these other profiles (industrial, agricultural, and tertiary), to calculate the impact on the overall community costs and prosumer bills. The importance of simulation models is also highlighted by the contribution of Fina et al. (2022), in which was presented an economic and energy estimation model, simulating two different distribution approaches: static allocation (where the amount of energy generated by PV is equally distributed among the participants in the REC) and dynamic allocation (where the distribution of energy is based on each participant's effective demand). The comparative model developed shows that dynamic distribution is advantageous in terms of cost reduction for the participants and efficiency in allocating the energy produced by PV. The authors' model can be easily replicated for communities in all countries, connecting it to the specificities of each case. This last contribution is closely related to the work of Boulaire et al. (2019) since it simulated and then evaluated the importance of battery storage systems to store and support the community's energy production. It represents another scientific contribution, focused on pre analysing scenarios to furnish practical tools in aiding the decision-making process for upcoming prosumers. Furthermore, a specific relevant case is the method proposed by Moncecchi et al. (2020) in which, by developing a mathematical model of cooperative games and using the Shapley value, it distributes the benefits in terms of costs and profits among the participants of a developing REC. The solution of this game demonstrates the economic sustainability of the community while being aligned with the overall goals and social objectives of the emerging initiative.

Several other contributions, strongly advocated for the inclusion of collaborative principles among stakeholders, procedural distributive justice, equity considerations, energy poverty reduction measures, and adherence to economic, social, and environmental sustainability principles in the ex-ante evaluation and structuring of RECs (Ceglia et al., 2022: 3462; Bode, 2022: 1005065; Di Nucci et al. 2022: 3270). These efforts aim to capture best practices and facilitate the best RECs' governance methodology.

Technological factors

Structuring RECs, technology plays a central role in advancing sustainable energy practices. The conducted SLR has demonstrated the significance of different RES, their integration with ICTs and innovations in energy storage, enhancing community efficiency and resilience. Building upon Cappellaro et al. (2022) statement, «The implementation and evolution of an energy communities on a specific territory requires the adoption and development of different technologies enabling data collection, evaluation and comparison» the significance of the technological factor analysis in such contexts becomes evident. Lage & Castro (2022) are promoter of technological innovation applied to energy generation systems and RECs because of their examination on how new technologies have facilitated monitoring and control of consumption, transmission, and energy generation, enforcing associated benefits and facilitating the dissemination knowledge. As well Neska & Kowalska-Pyzalska(2022) also highlighted the implication of new technologies, underscoring their role in enhancing energy production monitoring, generation, and control from a technical standpoint. Additionally, these technologies enable the development of adapted energy products and services for each prosumer. This research analysed three successful European RECs that have integrated various innovative ICTs (IoT, home management energy system, cloud services) as their strong point. Similarly, Adu-Kankam & Camarinha-Matos's (2022) study contributes to understanding the level of penetration and importance of digitization in energy ecosystems. A thorough examination of cases unveils a diverse range of technological supports that can be utilized to have a substantial influence on both energy and management performance. These tools encompass IoT devices, smart meters, peer-to-peer networks, and distributed ledger technologies employing blockchain.

An interesting example of innovative technologies applied to RECs was proposed by Conte et al. (2022). They introduced the application of artificial intelligence, which using inputs like combined energy consumption, photovoltaic generation, and shared services to devise a strategy for optimizing participants' earnings at any specific moment. Another highly innovative technology is presented by Botsaris et al. (2021) who, in their

simulation of a REC in Greece envision the use of smart contracts, based on blockchain technology, to regulate relationships among participants.

It is known how digitization, in its various forms, can facilitate certain processes and simplify the development of social and economic phenomenon. However, Minuto et al. (2022) appeared critical in this regard, as their contribution demonstrated that there is currently no digital platform capable of fully supporting citizens in the autonomous development of REC projects across all stages. Although, their work also showed that, among the 30 digital tools analysed, some can assist prosumers specifically in the operational and energy management phase. It is evident that the difficulties encountered by citizens in autonomous development could significantly impede the achievement of the objectives set by the RED II, further reducing citizens' active engagement as prosumers.

All that has been described refers to the implementation of highly innovative technologies applied to the energy sector. It is important to state that the optimal functioning of a REC is attributed to the widespread use of the mature photovoltaic technology, which is used in most cases analysed in this study. There are multiple contributions that positively assess the installation of photovoltaic technology as a RES applicable to energy communities, especially in combination with district heating systems and energy storage batteries. From the results of some studies, it emerges that photovoltaic technology yields the best outcomes in terms of economic benefits for citizens (Net Present Value and Return on Investment) and environmental gains, with substantial reductions in pollutant emissions. Performance increases when PV operates in combination with heat pumps for district heating and with batteries for energy storage and management of surplus production during peak periods (Ancona et al., 2022: 5248) (Vivian et al., 2022: 10-22). An example is the community model in Milan (Italy), studied recently by Blasuttigh et al. (2023), in which the benefits of utilizing a photovoltaic battery energy storage system (PV-BESS) are described as advantageous for achieving optimal technical, economic, and environmental sizing of the REC. These contributions have emphasized how the enhancement of technologies applied in RECs is crucial to maximize the integration of various demands applied to different specific cases. It is evident that these systems still need to be studied and improved, but it is equally true that current experiences demonstrate a suitable achievement of the technical, economic, and environmental objectives set during the planning phase (ur Rehman et al., 2019: 175-195).

The relational factor plays a vital role in RECs' implementation, encompassing the linkage with the local community and the political authorities. That is why two main successful factors can be added to the list: the engagement of local communities and political support.

Political support

Political support also plays a crucial role in RECs implementation, especially with a supportive legal and regulatory framework that establishes the criteria for their development, economic benefits, and rules to access. According to Krug et al. (2022) RECs' legal framework must: i) provide a legal definition of RECs in compliance with RED II; ii) detect the final customers of RECs; iii) entitle RECs to legally produce, consume, store, and sell renewable energy in the RECs community; iv) remove hindering administrative barriers; v) cooperate with relevant Distribution System Operators with RECs to facilitate energy transfers within RECs; and vi) establish fair procedures and an adequate economic system (charges, levies, and taxes).

Besides its compliance with RED II, the RECs' framework should consider the role of local policies, which also represent an essential driver for their establishment. Being connoisseurs of their territorial specificities, local authorities receive economic support from the government to set up new REC activities in their territories (Tatti et al., 2023: 67-92.). Collaborative public bodies with local community are salient for the acceptance of the RECs in their territories, avoiding any misunderstanding of usurping inner areas resources and landscapes (Lombardi et al., 2022). Besides these aspects, local governments must bear in mind that they can enable social and environmental advantages only by bringing added value to their main grid and society (Cirone et al., 2022: 13877). Hence, local governments must plan in detail the economic benefits that will result from participation in RECs and as suggested by Krug et al. (2022), eliminate any discriminatory treatment, allow access to any consumers, and develop an open data set for data collection.

As noticed by Candelise & Ruggieri (2020), local governments act as facilitators of RECs implementation by providing the assets for developing the initiative or by creating a favourable local legal framework for RECs or even by encouraging citizen participation in energy transitions. From an economic perspective, the model followed by local authorities is based on equity among members, i.e., the creation of a social fund targeting the more disadvantaged members or the funding of community services or energy efficiency measures, or in the alternative, the redistribution of benefits based on the amount of energy shared by each member (Tatti et al., 2023: 67-92.)

Despite the political support, there are still some barriers to RECs adoption related to organization (Bashi et al., 2023: 113055), increasingly complex administrative procedures (e.g., permitting, planning, grid connection), lack of expertise and market oversight, lower economies of scale and limited possibilities for project financing (Krug et al., 2022: 71-81).

4 Conclusions

The authors conducted a SLR, examining 80 selected academic articles, to identify and categorise what are the most successful factors for realizing a REC in rural areas. First, this study has shown that scholars (mostly the Italian ones) have increased interest in the REC's topic especially in the last three years, in line with the evolution of the EU regulations. Second, the main identified critical successful factors, in order of most referenced and clustered in four groups, have been: i) the role of the local communities as "starter" of REC establishment; ii) the *ex-ante* REC evaluation, simulation, and plan; iii) the technological factor to facilitate the plant management; and iv) the political support to define better rules, benefits, and the administrative procedures. The main limit of this research is linked to the choice of keywords and use of one indexed database: probably a different selection and the integration, for example, of Web of Science, would have identified other important articles regarding this topic. Consequently, future research could be addressed to enlarge the SLR, including different keywords and additional indexed database, and to develop a REC model for inner areas based on the identified successful factors. Nevertheless, these results could represent a preliminary source of information both for the EU policy makers, and for the local authorities of the rural areas who must face with the possible critical issues in the RECs' implementation.

References

- ADU-KANKAM, K.O., & CAMARINHA-MATOS, L.M. (2022). Renewable energy communities or ecosystems: An analysis of selected cases. *Helvion*, 8, e12617.
- ANCONA, M.A., BALDI, F., BRANCHINI, L., DE PASCALE, A., GIANAROLI, F., MELINO, F., & RICCI, M. (2022). Comparative Analysis of Renewable Energy Community Designs for District Heating Networks: Case Study of Corticella (Italy). *Energies*, 15(14), 5248.
- ARENTSEN, M., & BELLEKOM, S. (2014). Power to the people: local energy initiatives as seedbeds of innovation? *Energy, Sustainability, and Society*, 4(1), 1-12.
- ARRIGONI, P. (2023, 21 settembre). Le comunità energetiche e l'autoproduzione per lo sviluppo diffuso delle fonti rinnovabili (relazione a convegno). Sistemi Energetici Spa e Tonucci & Partners, Le Comunità energetiche e l'autoproduzione, Borgo Cervaro, FG, Italia.
- BASHI, M.H., DE TOMMASI, L., LE CAM, A., RELAÑO, L.S., LYONS, P., MUNDÓ, J., PANDELIEVA-DIMOVA, O., SCHAPP, I., LOTH-BABUT, H., EGGER, K., & STANCIOFF, C.E. (2023). A review and mapping exercise of energy community regulatory challenges in European member states based on a survey of collective energy actors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 172, 113055.
- BECKER, S., KUNZE, C., & VANCEA, M. (2017). Community energy and social entrepreneurship: Addressing purpose, organisation and embeddedness of renewable energy projects. *Journal of Cleaner Production*, 147, 25-36.
- BLASUTTIGH, N., NEGRI, S., MASSI PAVAN, A., & TIRONI, E. (2023). Optimal Sizing and Environ-Economic Analysis of PV-BESS Systems for Jointly Acting Renewable Self-Consumers. *Energies*, 16(3), 1244.
- BODE, A. (2022). To what extent can community energy mitigate energy poverty in Germany? *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 1005065.
- BOTSARIS, P.N., GIURKA, P., PAPATSOUNIS, A., DIMITRIADOU, P., GOITIA-ZABALETA, N., & PATSONAKIS, C. (2021). Developing a business case for a renewable energy community in a public housing settlement in Greece—the case of a student housing and its challenges, prospects and barriers. *Sustainability*, 13(7), 3792.
- BOULAIRE, F., NARIMANI, A., BELL, J., DROGEMULLER, R., VINE, D., BUYS, L., & WALKER, G. (2019). Benefit assessment of battery plus solar for customers and the grid. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100372.
- BUX, C., VARESE, E., AMICARELLI, V., & LOMBARDI, M. (2022). Halal Food Sustainability between Certification and Blockchain: A Review. *Sustainability*, 14(4), 2152.

- CANDELISE, C., & RUGGIERI, G. (2020). Status and evolution of the community energy sector in Italy. *Energies*, 13(8), 1888.
- CAPPELLARO, F., D'AGOSTA, G., DE SABBATA, P., BARROCO, F., CARANI, C., BORGHETTI, A., ... & NUCCI, C.A. (2022). Implementing energy transition and SDGs targets throughout energy community schemes. *Journal of Urban Ecology*, 8(1), juac023.
- CEGLIA, F., MARRASSO, E., PALLOTTA, G., ROSELLI, C., & SASSO, M. (2022). The State of the Art of Smart Energy Communities: A Systematic Review of Strengths and Limits. *Energies*, 15(9), 3462.
- CHAUDHRY, S., SURMANN, A., KÜHNBACH, M., & PIERIE, F. (2022). Renewable Energy Communities as Modes of Collective Prosumer-ship: A Multi-Disciplinary Assessment Part II—Case Study. *Energies*, 15(23), 8936.
- CIRONE, D., BRUNO, R., BEVILACQUA, P., PERRELLA, S., & ARCURI, N. (2022). Techno-Economic Analysis of an Energy Community Based on PV and Electric Storage Systems in a Small Mountain Locality of South Italy: A Case Study. *Sustainability*, 14(21), 13877.
- COHEN, J.J., AZAROVA, V., KOLLMANN, A., & REICHL, J. (2021). Preferences for community renewable energy investments in Europe. *Energy Economics*, 100, 105386.
- CONTE, F., D'ANTONI, F., NATRELLA, G., & MERONE, M. (2022). A new hybrid AI optimal management method for renewable energy communities. *Energy and AI*, 10, 100197.
- DI NUCCI, M.R., KRUG, M., SCHWARZ, L., GATTA, V., & LAES, E. (2023). Learning from Other Community Renewable Energy Projects: Transnational Transfer of Multi-Functional Energy Gardens from the Netherlands to Germany. *Energies*, 16(7), 3270.
- DÓCI, G., & VASILEIADOU, E. (2015). “Let’s do it ourselves” Individual motivations for investing in renewables at community level. *Renewable and sustainable energy reviews*, 49, 41-50.
- DÓCI, G., VASILEIADOU, E., & PETERSEN, A.C. (2015). Exploring the transition potential of renewable energy communities. *Futures*, 66, 85-95.
- DONTHU, N., KUMAR, S., MUKHERJEE, D., PANDEY, N., & LIM, W.M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296.
- ECKERSLEY, P. (2018). Who shapes local climate policy? Unpicking governance arrangements in English and German cities. *Environmental Politics*, 27(1), 139-160.
- EFTHYMIIOU, E.N., YFANTI, S., KYRIAKAKOS, G., ZERVAS, P.L., LANGOURANIS, P., TERZIS, K., & STAVRAKAKIS, G.M. (2022). A practical methodology for building a municipality-led renewable energy community: A photovoltaics-based case study for the municipality of Hersonissos in Crete, Greece. *Sustainability*, 14(19), 12935.

- EUROPEAN COMMISSION (2019). Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions—The European Green Deal, Brussels, 11.12.2019 COM (2019) 640 Final. Brussels: EC.
- EUROPEAN COMMISSION (2023a). Energy communities. https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-communities_en.
- EUROPEAN COMMISSION (2023b). Launch of the EU Energy Communities Map. https://energy-communities-repository.ec.europa.eu/energy-communities-repository-energy-communities/energy-communities-map_en.
- EUROPEAN UNION. 2018. Directive 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=fr>.
- EUROPEAN UNION. 2021. Regulation (EU) 2021/241 of the European Parliament and of the Council of 12 February 2021 Establishing the Recovery and Resilience Facility. Official Journal of the European Union L 57: 17-75.
- FINA, B., & AUER, H. (2020). Economic Viability of Renewable Energy Communities under the Framework of the Renewable Energy Directive Transposed to Austrian Law. *Energies*, 13(21), 5743.
- FINA, B., MONSBERGER, C., & AUER, H. (2022a). Simulation or estimation? -Two approaches to calculate financial benefits of energy communities. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129733.
- FINA, B., SCHWEBLER, M., & MONSBERGER, C. (2022b). Different technologies' impacts on the economic viability, energy flows and emissions of energy communities. *Sustainability*, 14(9), 4993.
- FLEISS, E., HATZL, S., SEEBAUER, S., & POSCH, A. (2017). Money, not morale: The impact of desires and beliefs on private investment in photovoltaic citizen participation initiatives. *Journal of Cleaner Production*, 141, 920-927.
- GOVERNO ITALIANO (2021). Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza—#NEXTGENERATIONITALIA. https://www.governo.it/sites/governo.it/files/PNRR_0.pdf.
- HAF, S., & ROBISON, R. (2020). How Local Authorities can encourage citizen participation in energy transitions. London: UK Energy Research Centre.
- HANKE, F., & LOWITZSCH, J. (2020). Empowering vulnerable consumers to join renewable energy communities—Towards an inclusive design of the clean energy package. *Energies*, 13(7), 1615.

- HARTMANN, K., & PALM, J. (2023). The role of thermal energy communities in Germany's heating transition. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 1027148.
- HICKS, J., & ISON, N. (2018). An exploration of the boundaries of 'community' in community renewable energy projects: Navigating between motivations and context. *Energy Policy*, 113, 523-534.
- HOICKA, C.E., LOWITZSCH, J, BRISBOIS, M.C., KUMAR, A., RAMIREZ CAMARGO, L. (2021). Implementing a just renewable energy transition: Policy advice for transposing the new European rules for renewable energy communities, *Energy Policy*, 156, 112435,
- HOPPE, T., GRAF, A., WARBROEK, B., LAMMERS, I., & LEPPING, I. (2015). Local governments supporting local energy initiatives: Lessons from the best practices of Saerbeck (Germany) and Lochem (The Netherlands). *Sustainability*, 7(2), 1900-1931.
- INÊS, C., GUILHERME, P.L., ESTHER, M.G., SWANTJE, G., STEPHEN, H., & LARS, H. (2020). Regulatory challenges and opportunities for collective renewable energy prosumers in the EU. *Energy Policy*, 138, 111212.
- KELLETT, J. (2007). Community-based energy policy: A practical approach to carbon reduction. *Journal of environmental planning and management*, 50(3), 381-396.
- KRUG, M., DI NUCCI, M.R., CALDERA, M., & DE LUCA, E. (2022). Mainstreaming community energy: is the renewable energy directive a driver for renewable energy communities in Germany and Italy? *Sustainability*, 14(12), 7181.
- KUBLI, M., & PURANIK, S. (2023). A typology of business models for energy communities: Current and emerging design options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 176, 113165.
- LAGE, M., & CASTRO, R. (2022). A Practical Review of the Public Policies Used to Promote the Implementation of PV Technology in Smart Grids: The Case of Portugal. *Energies*, 15(10), 3567.
- LAVRIJSEN, S.A.C.M. (2014). The different faces of energy consumers: toward a behavioral economics approach. *Journal of Competition Law and Economics*, 10(2), 257-291.
- LOMBARDI, M., PROSPERI, M., FASCIA, G. (2022). Social innovation for energy transition: activation of community entrepreneurship in inner areas of Southern Italy. In *Transitioning to Affordable and Clean Energy*. Edited by Edwin C. Constable. *Transitioning to Sustainability Series 7*. Basel (Switzerland): MDPI, 217-237.
- LUND, P.D., LINDGREN, J., MIKKOLA, J., & SALPAKARI, J. (2015). Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable and sustainable energy reviews*, 45, 785-807.

- MARRONE, P., FIUME, F., LAUDANI, A., MONTELLA, I., PALERMO, M., & FULGINEI, F.R. (2023). Distributed Energy Systems: Constraints and Opportunities in Urban Environments. *Energies*, 16(6), 2718.
- MASSARO, M., DUMAY, J., & GUTHRIE, J. (2016). On the shoulders of giants: undertaking a structured literature review in accounting. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, 29(5), 767-801.
- MIHAILOVA, D., SCHUBERT, I., BURGER, P., & FRITZ, M.M. (2022). Exploring modes of sustainable value co-creation in renewable energy communities. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129917.
- MINUTO, F.D., LANZINI, A., GIANNUZZO, L., & BORCHIellini, R. (2022, November). Digital platforms for Renewable Energy Communities projects: an overview. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1106(1), 012007
- MONCECCHI, M., MENEGHELLO, S., & MERLO, M. (2020). A game theoretic approach for energy sharing in the Italian renewable energy communities. *Applied Sciences*, 10(22), 8166.
- MURPHY, J., & SMITH, A. (2013). Understanding transition—Periphery dynamics: Renewable energy in the highlands and islands of Scotland. *Environment and Planning A*, 45(3), 691-709.
- MUTANI, G., & USTA, Y. (2022). Design and Modeling Renewable Energy Communities: A Case Study in Cagliari (Italy). *International Journal of Sustainable Development & Planning*, 17(4).
- NESKA, E., & KOWALSKA-PYZALSKA, A. (2022). Conceptual design of energy market topologies for communities and their practical applications in EU: A comparison of three case studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169, 112921.
- NTANOS, S., KYRIAKOPOULOS, G., CHALIKIAS, M., ARABATZIS, G., & SKORDOULIS, M. (2018). Public perceptions and willingness to pay for renewable energy: A case study from Greece. *Sustainability*, 10(3), 687.
- PAGE, M.J., MCKENZIE, J.E., BOSSUYT, P.M., BOUTRON, I., HOFFMANN, T.C., MULROW, C.D., SHAMSEER, C.D., TETZLAFF L., AKL, J.M., BRENNAN, E.A, MOHER, S.E., (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *International journal of surgery*, 88, 105906.
- SEYFANG, G., & SMITH, A. (2007). Grassroots innovations for sustainable development: Towards a new research and policy agenda. *Environmental politics*, 16(4), 584-603.
- SNYDER, H. (2019). Literature review as a research methodology. An overview and guidelines. *Journal of business research*, 104, 333-339.
- SOARES DA SILVA, D., & HORLINGS, L.G. (2020). The role of local energy initiatives in co-producing sustainable places. *Sustainability Science*, 15, 363-377.

- SZULECKI, K. (2018). Conceptualizing energy democracy. *Environmental Politics*, 27(1), 21-41.
- TATTI, A., FERRONI, S., FERRANDO, M., MOTTA, M., & CAUSONE, F. (2023). The Emerging Trends of Renewable Energy Communities' Development in Italy. *Sustainability*, 15(8), 679.
- TRICARICO, L. (2015). Energia come community asset e orizzonte di sviluppo per le imprese di comunità. *Impresa Sociale*, 5, 53-64.
- UR REHMAN, H., REDA, F., PAIHO, S., & HASAN, A. (2019). Towards positive energy communities at high latitudes. *Energy conversion and management*, 196, 175-195.
- VIVIAN, J., CHINELLO, M., ZARRELLA, A., & DE CARLI, M. (2022). Investigation on Individual and Collective PV Self-Consumption for a Fifth Generation District Heating Network. *Energies*, 15(3), 1022.
- VOLPATO, G., CARRARO, G., CONT, M., DANIELI, P., RECH, S., & LAZZARETTO, A. (2022). General guidelines for the optimal economic aggregation of prosumers in energy communities. *Energy*, 258, 124800.
- WANG, J., LIU, F., LI, L., & ZHANG, J. (2022). More than innovativeness: Comparing residents' motivations for participating renewable energy communities in different innovation segments. *Renewable Energy*, 197, 552-563.
- WILLIS, R., & WILLIS, J. (2012). *Co-operative renewable energy in the UK. A guide to this growing sector*. Manchester: The Co-operative Group and Co-operatives UK.

Focus sull'analisi di ciclo di vita applicata all'olio di girasole

Rosalia Stella Evola
Università di Torino
Enrica Vesce
Università di Torino
Riccardo Beltramo
Università di Torino

ABSTRACT

L'olio di girasole è ampiamente utilizzato sia nel settore alimentare che come biocarburante. Nell'ultimo anno la sua produzione globale è stata di circa 20 milioni di tonnellate e, a livello europeo, si prevede che nel prossimo biennio la superficie destinata alla sua coltivazione aumenterà fino a 4.9 milioni di ettari. Ciò porta a prestare attenzione alla pressione ambientale derivante dalla sua produzione. La fase agricola è nota per essere un hotspot per molti prodotti alimentari, tuttavia è necessario considerare l'intera filiera per evitare lo spostamento del carico ambientale da una fase produttiva ad un'altra. A tale scopo è particolarmente adatta la metodologia di valutazione del ciclo di vita (LCA). Questo contributo nasce da una ricerca più ampia volta a implementare una LCA di olio di girasole edibile ottenuto con un'innovativa tecnologia di estrazione a freddo. Lo scopo di questo primo approfondimento è quello di effettuare una revisione della letteratura sull'applicazione della LCA all'olio di girasole per sistematizzare le informazioni attuali sulla valutazione ambientale lungo il ciclo di vita. Pertanto, partendo da un campione di 70 articoli estratti dai database Scopus e WoS, la revisione si è concentrata sull'identificazione delle scelte metodologiche e sui dati di inventario del ciclo di vita. Scoprire le tendenze nell'applicazione della LCA e di altri strumenti del ciclo di vita correlati a questo sistema prodotto sarebbe utile per offrire un'istantanea ai professionisti. In particolare, per il gruppo di ricerca, questo studio serve a stabilire parametri chiave armonizzati per l'implementazione di una LCA dell'olio di girasole spremuto a freddo.

PAROLE CHIAVE: olio di girasole; analisi di ciclo di vita; olio edibile; cibo; performance ambientale; agro-alimentare.

ABSTRACT

Sunflower oil is an important commodity used in the food industry as well as biofuels. In the past year its global production amounted to about 20 mil-

lion metric tons and, specifically at European level it is expected that in the next two years the area destined to its cultivation will increase up to 4.9 million hectares. This leads to paying attention to environmental pressure arising from this oil production. In this sense the agricultural phase is known to be a hotspot for many food products, but the whole supply chain must be considered to avoid the environmental burden shifting. For this purpose, the life cycle assessment (LCA) is particularly suitable. This contribution arises from broader research aimed at implementing a LCA of edible sunflower oil obtained with an innovative cold extraction technology. In particular, the scope of this first insight is to carry out a literature review of LCA application to edible sunflower oil to systematised current information on the environmental evaluation along its life cycle. Therefore, starting from an initial sample of 70 papers extracted from Scopus and WoS database, the review focused on the identification of methodological choices and on life cycle inventory data. Discovering the trends in application of LCA and other related life cycle tools to this specific product system would be useful to offer a snapshot to practitioners. For this research group, this study serves to set up harmonized key parameters for the implementation of a LCA of cold pressed sunflower oil.

KEYWORDS: sunflower oil; life cycle assessment; edible oil, food, environmental performance, agri-food.

1 Introduzione

L'olio derivante da semi rappresenta un'importante risorsa sia in ambito alimentare che in quello energetico. Tra il 2022 e il 2023 la produzione globale del solo olio di semi di girasole è stata di circa 20 milioni di tonnellate, attestandosi al quarto posto dopo l'olio di palma (77), di soia (61) e di colza (32) (US Department of Agriculture, 2023). A livello europeo, nel periodo compreso tra il 2023 e il 2024, si prevede un possibile generale incremento della produzione degli oli estratti da semi, in particolare guidata dalla soia e dal girasole. Per quanto riguarda quest'ultimo si è infatti calcolato che la superficie coltivata aumenterà fino a 4.9 milioni di ettari e la conseguente produzione di semi aumenterà fino a raggiungere 10.8 milioni di tonnellate (EU, 2023). Il ciclo di vita dell'olio di girasole edibile inizia con la fase di coltivazione della pianta. Sementi, acqua, energia e carburanti, ma anche fertilizzanti chimici, erbicidi e insetticidi sono input principali della fase agricola, questi ultimi utilizzati a seconda delle pratiche agricole implementate. Alla fase di trasporto in stabilimento seguono la preparazione dei semi e l'estrazione dell'olio. Se estratto attraverso un processo meccanico è possibile ottenere un olio pronto al consumo alimentare senza utilizzo di calore

e solventi. Solitamente invece il processo convenzionale ricorre a solventi per la fase di estrazione e l'olio grezzo così ottenuto viene poi sottoposto alla fase di raffinazione che consiste in una serie di processi fisici e chimici: il degommaggio, la neutralizzazione, la decolorazione e la deodorizzazione. L'olio raffinato viene poi imballato e distribuito al consumatore finale. Inoltre, l'olio di girasole viene utilizzato come materia prima in quanto componente principale di altri numerosi prodotti alimentari.

Nel contesto odierno, in cui è ormai riconosciuta l'insostenibilità degli attuali modelli di produzione e consumo di cibo, la complessità del ciclo di produzione e l'ingente quantità di olio di girasole processato portano necessariamente a prestare attenzione alla pressione ambientale derivante dal suo ciclo di vita. La fase agricola è nota per essere un hotspot per molti prodotti alimentari (Roy et al. 2009), ma l'intera filiera deve poter essere considerata per evitare lo spostamento del carico ambientale da una fase a un'altra e identificare tutte le possibili occasioni di miglioramento. A questo scopo ben si presta la metodologia LCA, così come definita all'interno degli standard ISO serie 14040 e 14044. In letteratura scientifica si ritrovano numerosi casi di applicazioni di LCA a prodotti alimentari. Roy et al. (2009) hanno in generale discusso l'applicazione di questa metodologia per ampie categorie di prodotti alimentari, come ad esempio per prodotti di allevamento e prodotti alimentari industriali. Più nello specifico Khatri & Jain (2017) si sono focalizzati sull'applicazione della LCA per la valutazione degli oli edibili. Su un totale di 36 studi revisionati, 5 riguardavano l'olio di girasole. Gli autori della revisione hanno fornito un'accurata analisi qualitativa relativa alle scelte metodologiche che caratterizzano gli studi di valutazione ambientale sottolineando in conclusione l'importanza della definizione di uno standard specifico per i sistemi prodotto agricoli.

Questo gruppo di ricerca intende restringere lo sguardo adottato da Khatri & Jain (2017) e focalizzarsi esclusivamente sull'olio di semi di girasole. L'obiettivo del presente contributo è infatti quello di condurre un'analisi della letteratura scientifica relativa all'implementazione della metodologia di ciclo di vita finalizzata a valutare la performance ambientale dell'olio di semi di girasole edibile. Questa ricerca rappresenta la fase iniziale di sistematizzazione delle informazioni utili ad impostare una LCA su un olio di girasole ottenuto con una tecnologia di estrazione innovativa.

2 Materiali e Metodi

2.1 Metodo di revisione sistematica della letteratura

Per condurre la revisione della letteratura scientifica è stato adottato l'approccio sistematico proposto da Denyer & Tranfield (2009) che assicura

la replicabilità e rigorosità dell'analisi. Inoltre, vista la vicinanza di intenti, è stata presa come riferimento la strategia seguita da Huarachi et al. (2020), appunto utilizzata per condurre una revisione delle applicazioni di LCA nel campo dei laterizi. Il processo di revisione ha seguito cinque fasi tra di loro distinte: (i) formulazione della domanda di ricerca; (ii) individuazione dei database e letteratura di riferimento; (iii) selezione e valutazione degli studi; (iv) analisi e sintesi e (v) rendicontazione dei risultati. Nei seguenti sottoparagrafi della sezione materiali e metodi vengono trattate le fasi (i), (ii) e (iii), a seguire nelle sezioni successive vengono riportate le fasi di presentazione, analisi e discussione dei risultati.

2.2 Formulazione della domanda di ricerca

Questo contributo nasce da una ricerca più ampia volta a implementare una LCA di olio di girasole edibile ottenuto con un'innovativa tecnologia di estrazione a freddo. Al fine di raggiungere questo scopo, il gruppo di ricerca ha deciso prima di investigare l'attuale stato dell'arte attraverso una revisione della letteratura sulle applicazioni di LCA riferite all'olio di semi di girasole. Similarmente come in Roy et al. (2019), Khatri & Jain (2017) e Huarachi et al. (2020), che hanno condotto delle analisi con lo stesso obiettivo perseguito da questo contributo, ma indirizzate su altre categorie di prodotto, sono state definite le domande di ricerca.

- Come gli studi LCA sull'olio di girasole si distribuiscono temporalmente e tra i diversi settori e territori?
- Per quanto riguarda gli studi indirizzati al settore alimentare, quali sono state le principali scelte effettuate durante la prima fase di goal and scope? Quali sono stati i principali risultati raggiunti?

2.3 Individuazione e selezione degli studi

Alla formulazione della domanda di ricerca sono poi seguite le fasi di individuazione e selezione degli studi corrispondenti alle fasi (ii) e (iii) indicate dall'approccio di Denyer & Tranfield (2009). Per quanto riguarda le fonti dalle quali estrarre gli articoli sono state individuate Scopus (Elsevier) e Web of Science (WoS, Thomson Reuters) in quanto riconosciute come tra le più valide e complete fonti di articoli scientifici ed in particolare di articoli focalizzati su LCA (Huarachi et al. 2020). Per la fase iniziale di individuazione sono state poi definite le parole chiave. La stringa di ricerca è stata costruita ricorrendo a due gruppi di parole chiave. Come in Huarachi et al. (2020), le parole chiave scelte relative alla LCA sono state "Life cycle assessment", "Life cycle analysis", "Life cycle sustainability assessment", "Life cycle sustainability analysis", "LCA" e "LCSA". Per l'olio di semi di girasole è stato scelto di usare la parola "sunflower oil". Questi due

gruppi sono stati poi messi in connessione tramite l'operatore Booleano AND nella stringa di ricerca finale. La stringa di ricerca è stata quindi utilizzata per condurre l'identificazione degli articoli scientifici all'interno delle citate fonti senza fissare alcun limite temporale. In totale sono stati estratti 96 contributi potenzialmente selezionabili, 43 da Scopus e 53 da WoS. Il campione si è poi ridotto a 70 unità dopo l'eliminazione di 26 duplicati. Durante la fase di selezione sono stati analizzati gli abstracts al fine di escludere dal campione di 70 unità gli articoli non includenti applicazioni LCA dell'olio di semi di girasole. Attraverso l'applicazione di questo criterio di eleggibilità l'ampiezza del campione è diminuita fino a 41 unità. L'ultimo passaggio è poi consistito nel controllo completo del testo dei rimanenti articoli al fine di escludere definitivamente i contributi scientifici non utili per rispondere alle domande di ricerca definite nella prima fase del processo di revisione. Il processo di selezione descritto ha portato alla definizione di un campione finale composto in totale da 31 articoli scientifici (Tab. 1). Questi sono stati suddivisi in tre gruppi distinti a seconda del settore di riferimento, i.e., energia (14), settore alimentare (12) e settore manifatturiero (5). Al fine di fornire una panoramica generale e rispondere quindi alla prima domanda di ricerca, per la fase iniziale di presentazione e analisi degli articoli è stato considerato tutto il campione (sezione 3.1). Successivamente, visto il focus sull'olio di girasole edibile, si è proseguita l'analisi dei risultati considerando esclusivamente gli articoli riferiti al settore alimentare.

ID	Autori	Settore	Territorio
1	Bordignon et al. (2023)	A	Europa
2	Wahyono et al. (2023a)	E	Indonesia
3	Wahyono et al. (2023b)	E	Indonesia
4	Fernández-Ríos et al. (2022)	A	Spagna
5	Wahyono et al. (2022)	E	Indonesia
6	Alcock et al. (2022)	A	Globale
7	Galusnyak et al. (2022)	E	Europa
8	Van Mierlo et al. (2022)	A	Paesi Bassi
9	Nabavi-Pelesaraei et al. (2021)	A	Iran
10	Saget et al. (2021)	A	America
11	Kachrimanidou et al. (2021)	M	Globale
12	Becker et al. (2020)	M	Europa
13	Pereira et al. (2019)	M	Europa

14	Volpe et al. (2018)	M	Italia
15	Pari et al. (2028)	E	Italia
16	Pereira et al. (2017)	M	Spagna
17	Laso et al. (2017)	A	Spagna
18	Notarnicola et al. (2017)	A	Europa
19	Sieverding et al. (2016)	E	Stati Uniti
20	De Marco et al. (2016)	E	Italia
21	Schmidt (2015)	A	Global
22	Nucci et al. (2014)	A	Italia
23	Badey et al. (2013)	A	Francia
24	Spinelli et al (2012)	E	Italia
25	De Mora et al. (2012)	E	Europa
26	Sanz Requena et al. (2011)	E	Spagna
27	Özilgen & Sorgüven (2011)	A	Turchia
28	Chiaramonti & Recchia (2010)	E	Italia
29	Stephenson et al (2010)	E	Sud Africa
30	Simone et al. (2009)	E	Italia
31	Bravi et al. (2007)	E	Italia

Tabella 1 – Elenco degli articoli selezionati ordinati in senso decrescente secondo l'anno di pubblicazione. Legenda: A: alimentare, E: energetico, M: manifatturiero

3 Risultati e Discussione

3.1 Analisi e sintesi delle caratteristiche degli studi

In figura 1 è possibile osservare la distribuzione degli studi per anno di pubblicazione e settore di riferimento. Durante la fase di revisione non sono stati fissati limiti temporali e si è scelto di includere comunque l'anno 2023 al fine di non escludere i contributi più recenti. Il primo articolo rispondente ai criteri di revisione è stato pubblicato nel 2007 in ambito energetico (Bravi et al. 2007). Dall'andamento del numero di articoli per anno è possibile notare un leggero incremento nella seconda parte del periodo.

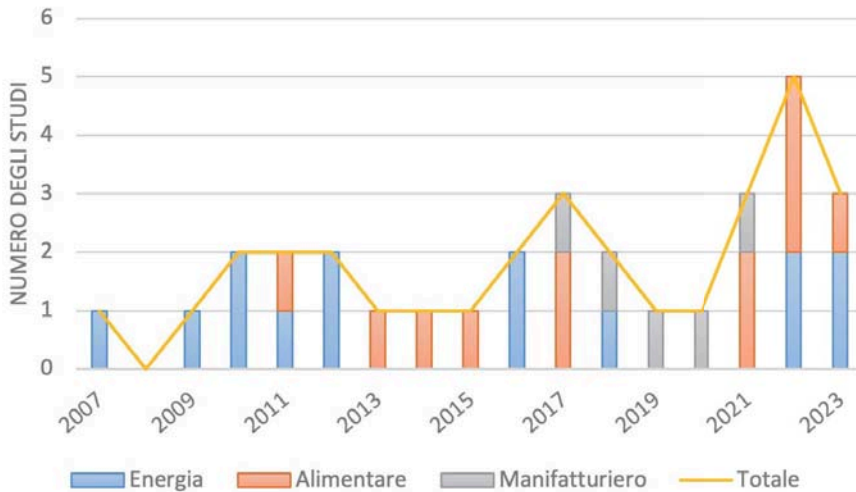


Figura 1 – Distribuzione degli articoli per anno di pubblicazione e settore di riferimento

Considerando invece anche la suddivisione per settore emerge che nel primo periodo i contributi pubblicati riguardavano esclusivamente analisi dell'olio di semi di girasole funzionale alla produzione di energia, a partire poi dal secondo decennio del 2000 si sono aggiunte le analisi relative a sistemi agro-alimentari. Negli ultimi 10 anni sono quindi aumentate le valutazioni di ciclo di vita relative all'olio di girasole edibile ed inoltre, tra il 2017 e il 2021, sono state pubblicate delle analisi relative al campo manifatturiero nelle quali l'olio di girasole rientrava a pieno titolo nel sistema prodotto ma non ne costituiva l'unità funzionale principale. Tra queste, la valutazione della produzione di PHB (Kachrimanidou et al. 2021), di acido citrico (Becker et al. 2020), di amido termoplastico (Volpe et al. 2018) e del processo di perforazione tipicamente utilizzato nel settore automobilistico (Pereira et al. 2019; Pereira et al. 2017).

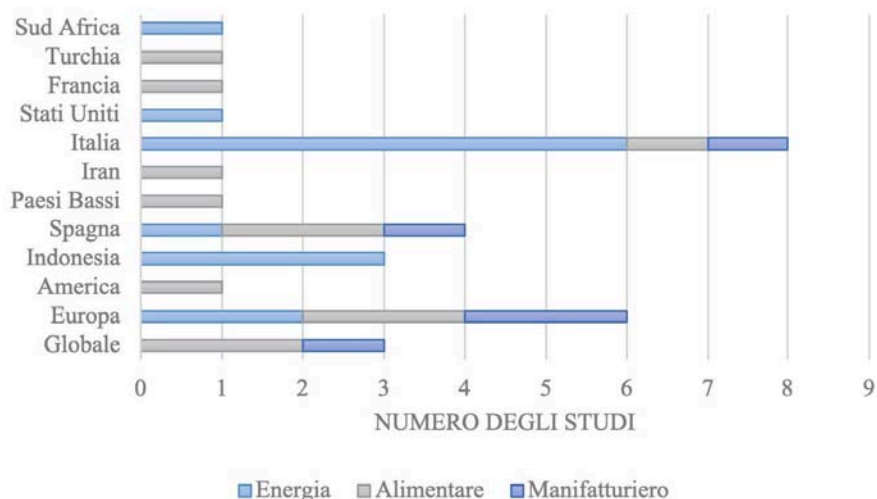


Figura 2 – Copertura territoriale degli studi selezionati classificati per settore

La figura 2 riporta la suddivisione degli studi per copertura territoriale e settore. Quando non specificato il territorio è stato individuato considerando la provenienza dei dati utilizzati per il LCI. Il contesto territoriale per il quale sono state implementate più analisi LCA è quello italiano, 8 in tutto di cui 6 in ambito energetico. Segue l'Europa (6/31) e la Spagna (4/31). In generale si osserva che più della metà del campione (24/31) tratta di analisi condotte in contesto europeo, che, a seconda dei confini del sistema considerato, possono includere uno o più paesi. Considerandone poi la classificazione per settori, emerge che in questo sotto campione gli studi relativi al settore alimentare sono maggiori di un'unità (10/24) rispetto a quelli sviluppati in campo energetico (9/24), il resto è rappresentato da tutti gli studi per il settore manifatturiero (5/24). La maggior parte degli studi in campo alimentare fanno quindi riferimento al contesto Europeo. Infatti, considerando il campione di partenza, 12/31 riguardano l'olio di semi di girasole edibile, di cui 10 riferiti a paesi europei, uno all'Iran e l'altro al territorio americano.

3.2 Focus sui contributi relativi al settore alimentare

Al fine di individuare e analizzare le principali caratteristiche delle valutazioni di ciclo di vita riferite all'olio di girasole edibile si è scelto di restringere l'analisi ai contributi precedentemente classificati all'interno del gruppo settore alimentare. In tabella 2 sono riportati gli obiettivi, l'unità

funzionale, le fasi di ciclo di vita dell'olio di girasole considerate e i principali risultati dettagliati relativi ai 12 contributi. Questi ultimi sono elencati secondo la stessa numerazione riportata in tabella 1.

3.2.1 *L'olio di girasole come componente di altri prodotti*

Negli studi di Bordignon et al. (2023), Fernández-Ríos et al. (2022), Van Mierlo et al. (2022), Saget et al. (2021), Laso et al. (2017) e Notarnicola et al. (2017) il sistema prodotto principale analizzato include come sottosistema quello relativo all'olio di girasole, in quanto quest'ultimo risulta essere un input fondamentale concorrente alla costituzione del flusso di riferimento. Fernández-Ríos et al. (2022) e Laso et al. (2017) si focalizzano sui prodotti ittici sott'olio in lattina con l'obiettivo di valutarne il profilo ambientale con un approccio dalla culla alla tomba. Le stesse fasi di ciclo di vita dell'olio vengono considerate nei due studi, quella agricola, industriale e il trasporto in stabilimento. Entrambi rilevano che l'olio di girasole costituisce un hotspot, al suo utilizzo infatti sono associati i più alti contributi in quasi tutte le categorie di impatto considerate. Laso et al. (2017) sottolinea che rispetto all'olio d'oliva raffinato ed extravergine quello di girasole rappresenta la peggiore alternativa a causa del carico ambientale che ne caratterizza la fase agricola. Altri due studi (Bordignon et al. 2023; Van Mierlo et al. 2022) impostano delle analisi comparative dalle quali emerge che l'alternativa che include l'olio di semi di girasole risulta essere sempre la più impattante. Sia nel caso studio di una nuova composizione della dieta per la *Seriola dumerili* (Bordignon et al. 2023), sia nella valutazione delle alternative vegana e vegetariana per la cotoletta di suino (Van Mierlo et al. 2022), si conclude che la sostituzione dell'olio di girasole con altri oli vegetali, come quello di palma o soia, porterebbe a una diminuzione complessiva degli impatti ambientali del sistema investigato. Leggermente diverse le conclusioni di Saget et al. (2021). Questi ultimi, nell'implementare la comparazione degli impatti associati alla maionese convenzionale e a quella vegana, nelle quali appunto la componente oleosa si trova in una percentuale di circa il 70%, pongono l'accento sul fatto che la sostituzione con un'altra varietà di olio potrebbe far emergere dei trade-off. Se per l'uso del suolo riportano una variazione in diminuzione dell'impatto tra il 40% e 80%, così non risulta per le emissioni di carbonio per le quali conteggiano una variazione tra il -8% e il +114% (Saget et al., 2021). Elevata variabilità si registra anche se viene considerata l'influenza della provenienza geografica dell'olio di girasole. In questo sottogruppo, infine, è stato incluso lo studio di Notarnicola et al. (2017) sul consumo medio di cibo in Europa per persona. Gli autori identificano un paniere di prodotti alimentari, in relazione ai quali raccogliere i dati di inventario con un approccio dalla culla alla tomba. Nel paniere viene inserito anche l'olio di girasole il cui specifico

consumo, considerando i dati disaggregati, contribuisce maggiormente alle categorie di impatto ecotossicità dell'acqua dolce, uso del suolo e cambiamento climatico.

3.2.2 *L'olio di girasole come sistema prodotto principale*

La revisione della letteratura ha condotto all'identificazione di 6 contributi che hanno applicato la metodologia LCA specificatamente per valutare diversi aspetti ambientali connessi al ciclo di vita dell'olio di semi di girasole utilizzato a scopi alimentari (Tab. 2 ID 6, 9, 21, 22, 23, 27). Anche se indirizzate verso lo stesso sistema prodotto, queste analisi hanno perseguito tutti obiettivi differenti. Da ciò derivano quindi le differenze nelle scelte per quanto riguarda le scale di implementazione, unità funzionale, confini del sistema e aspetti ambientali valutati.

Alcock et al. (2022), Schmidt et al. (2015) e Özilgen & Sorgüven (2011) hanno presentato la comparazione delle prestazioni ambientali dell'olio di girasole con altri oli. A considerare più alternative è stato Schmidt et al. (2015) che fa riferimento all'olio di girasole, di palma, di soia, di colza, di arachidi. Özilgen & Sorgüven (2011) sono stati invece gli unici a considerare l'olio di oliva e ad aggiungere, oltre alla fase agricola e industriale, anche la fase di trattamento rifiuti e confezionamento. Da specificare che in questo ultimo caso non è stata adottata specificatamente la metodologia LCA secondo lo standard ISO serie 14040 e 14044, ma il consumo di energia ed emissioni di CO₂ sono state valutate comunque adottando una logica di ciclo di vita attraverso il calcolo del CExC (*Cumulative exergy consumption*). Complessivamente, confrontando i consumi energetici ed exergetici cumulativi, quelli per produrre olio da 1 tonnellata di semi di girasole risultano essere tra i più bassi rispetto ai consumi associati alla stessa quantità di olive e di soia. Lo studio individua, inoltre, che la fase di confezionamento contribuisce in maniera rilevante all'impatto calcolato per l'olio di girasole. Alcock et al. (2022) e Schmidt et al. (2015) hanno entrambi comparato le emissioni GHG, il primo tra quattro oli vegetali esaminando la produzione rappresentativa per più del 71% della produzione globale di oli vegetali, il secondo invece tra cinque oli ma con un livello di rappresentatività di circa il 46% (Alcock et al., 2022). In generale dai due studi emerge una performance ambientale in termini di emissioni GHG e uso del suolo migliore rispetto alle altre tipologie di olio. Anche Baley et al. (2013) hanno messo a confronto i risultati ottenuti dalla LCA con un approccio dalla culla alla tomba per l'olio di girasole e di colza. Il primo è risultato meno impattante in termini di emissioni GHG ma più impattante per quanto riguarda il consumo di acqua. L'obiettivo principale di questo studio era quello di fornire le informazioni base rappresentative della produzione francese, utilizzabili per il processo di etichettatura ambientale per i due tipi di

oli. Un esempio di analisi rappresentativa invece di un caso italiano è quella di Nucci et al. (2014) il cui focus principale è stato impostato dichiaratamente sulla fase industriale, con attenzione anche al ciclo di vita dell'imballo e al trattamento acque reflue e rifiuti. In questo caso il processo indagato consiste in un processo di raffinazione convenzionale. Guardando all'intero ciclo di vita la fase agricola viene confermata come la più impattante ma anche la fase di confezionamento è risultata contribuire in maniera rilevante. Il valore aggiunto del contributo consiste inoltre nell'approfondimento sulla fase di raffinazione. La riduzione del consumo di calore per il processo industriale è stata suggerita tra le possibili azioni di miglioramento. Un sistema di produzione di olio attraverso la spremitura a freddo è stato analizzato attraverso la LCA da Nabavi-Pelesaraei et al. (2021). In questo caso il contributo ha posto particolare attenzione al consumo di energia analizzando tre scenari di utilizzo di sistemi fotovoltaici. Considerando il caso base, per la fase agricola è stato calcolato un consumo dell'86% del totale dell'energia utilizzata, confermando la maggiore efficienza della fase industriale (Nabavi-Pelesaraei et al., 2021).

ID	Obiettivo	FU	Fasi di ciclo di vita	Risultati
1	Valutazione della sostituzione di olio di pesce con una miscela di oli vegetali nella dieta della <i>Seriola dumerili</i>	1 kg di miscela per la dieta	Coltivazione; produzione; trasporto; fase di uso	La produzione dell'olio di girasole contribuisce per il 60% alla categoria di impatto eutrofizzazione
4	Valutazione del profilo ambientale della supply chain della lattina di tonno	lattina 105 g di tonno in olio di semi di girasole (75g tonno e 30g olio)	Coltivazione; produzione; trasporto; fase di uso	L'uso dell'olio determina il più alto contributo su sei categorie di impatto (TETP; POCP; GWP; EP; AP; ADP)
6	Valutazione a livello globale delle emissioni GHG derivanti dalla produzione di olio di palma, soia, colza e girasole	1 kg di olio vegetale raffinato	Coltivazione; trasporto; produzione	Mediana delle emissioni di ciclo di vita dell'olio di girasole (2.49 kg CO ₂ e) più bassa della mediana globale (2.94 kg CO ₂ e).

8	Comparazione degli impatti ambientali associati alla cotoletta di suino, cotoletta di soia vegetariana, cotoletta di soia vegana	1 kg di prodotto; 1 kg di proteine; 1 kg di proteine moltiplicato per la DIAAS	Coltivazione; produzione; trasporto; fase di uso	Dall'olio di girasole e dall'energia derivano i maggiori contributi all'impatto ambientale associati alle cotolette di soia
9	Analisi energetica riferita all'applicazione del sistema fotovoltaico e fotovoltaico/termico alla produzione di olio di girasole	1 tonn di olio estratto attraverso il metodo della spremitura a freddo	Coltivazione; trasporto; produzione	La fase agricola è responsabile del consumo dell'86% dell'energia totale. Le emissioni dirette associate alla fase agricola rappresentano i maggiori hotspot
10	Comparazione dell'impronta ambientale della maionese tradizionale e vegana	vaso di vetro di 473 ml riempito con maionese	Coltivazione; produzione; trasporto; fase uso	L'olio di girasole è il maggior responsabile degli impatti ambientali di entrambe le alternative
17	Valutazione dell'impatto ambientale dell'acciughe in scatola sott'olio	1 kg di acciughe in entrata nello stabilimento	Coltivazione; produzione; trasporto; fase uso	Tra gli oli vegetali, quello di girasole determina un maggiore impatto ambientale a causa della fase agricola
18	Valutare l'impatto ambientale del consumo di cibo in Europa	Consumo medio di cibo per persona in Europa	Coltivazione; produzione; trasporto; confezionamento; fase uso; fine vita	Le categorie su cui impatta maggiormente l'olio di girasole sono ecotossicità acqua dolce, uso del suolo e cambiamento climatico
21	Comparazione della prestazione ambientale di 5 oli vegetali	1 tonn di grassi e oli come definiti nel CODEX STAN 19-1981	Coltivazione; produzione	Per emissioni GHG e uso del suolo, la produzione dell'olio di girasole può essere considerata a basso impatto

22	Valutazione degli impatti ambientali della produzione dell'olio di girasole con focus sulla fase industriale	1 l di olio di girasole raffinato ed imballato dallo stabilimento o Salov, Italia.	Coltivazione; produzione; confezionamento ; trattamento acque reflue; trasporto; produzione vettori energetici	Impatti elevati derivano dalla fase di confezionamento e trasporto degli input. È possibile ottenere un miglioramento complessivo agendo sul trattamento delle acque reflue
23	Creare la base e fornire dati per l'etichettatura ambientale degli oli vegetali del territorio francese	10 gr di olio consumato nella grande distribuzione organizzata	Coltivazione; produzione; confezionamento; produzione e fine vita dell'imballo; trasporto	Per 100 gr di olio di girasole imballato pronto per il consumatore vengono associate 112 kg CO ₂ e e 1.9 l di consumo totale di acqua
27	Valutare il consumo di energia e le emissioni di CO ₂ associate alla produzione di tre oli vegetali	1 tonn di semi di girasole	Coltivazione; produzione olio; trattamento rifiuti; confezionamento ; trasporto	La fase agricola è la più energivora per ognuno dei tre casi, tra tutti la coltivazione di girasole consuma un minore ammontare di energia

Tabella 2 – Obiettivo, unità funzionale, confini del sistema e risultati chiave degli articoli in ambito alimentare. Gli articoli sono identificati tramite lo stesso ID utilizzato in tabella 1. Per quanto riguarda ID 1,4, 8,10, 17, e 18, in corrispondenza della colonna quattro sono indicate le fasi di ciclo di vita dell'olio di girasole incluse negli studi e non quelle del sistema prodotto principale

Conclusione e sviluppi futuri

La revisione della letteratura è servita a raccogliere informazioni sugli obiettivi perseguiti e sulle pratiche adottate in campo accademico, relative all'applicazione della LCA all'olio di semi di girasole. Questa risulta utile come quadro introduttivo per la ricerca volta a implementare un LCA di olio di girasole edibile ottenuto con un'innovativa tecnologia di estrazione a freddo.

Le analisi LCA sono state condotte con intenti e unità funzionali differenti rendendone difficile la comparazione. È emersa la discussione in merito alla variabilità legata all'influenza del processo di produzione e il territorio geografico. Nonostante ciò, è stato generalmente rilevato che il maggiore contributo deriva dalla fase agricola ed inoltre è emerso che i risultati delle differenti comparazioni dell'olio di girasole con gli altri oli vegetali non si discostano molto tra loro.

È importante che gli studi di miglioramento si focalizzino anche sulla fase industriale di produzione. In questo senso contribuiscono gli studi di Nabavi-Pelesaraei et al. (2021) e Nucci et al. (2014). Dall'analisi dello stato dell'arte è emerso che la fase di estrazione e raffinazione è stata poco discussa rispetto a quella agricola. Nel gruppo di contributi in campo alimentare soltanto 4/12 hanno applicato l'approccio dalla culla alla tomba e hanno quindi considerato anche la fase di confezionamento.

La revisione ha permesso di identificare le principali fonti accademiche di riferimento e di condurre un'indagine preliminare sul tema che dovrà essere successivamente arricchita con la parte di approfondimento relativa alle fasi LCI e LCIA.

References

- US DEPARTMENT OF AGRICULTURE, & USDA FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. (January 12, 2023). Production volume of sunflowerseed oil worldwide from 2012/13 to 2022/23 (in million metric tons) [Graph]. In Statista. Retrieved September 29, 2023, from <https://www.statista.com/statistics/613490/sunflowerseed-oil-production-volume-worldwide/>
- ALCOCK, T.D., SALT, D.E., WILSON, P., & RAMSDEN, S.J. (2022). More sustainable vegetable oil: Balancing productivity with carbon storage opportunities. *Science of The Total Environment*, 829, 154539.
- BADEY, L., LAHITTE, N., FLENET, F., & BOSQUE, F. (2013). French environmental communication on sunflower and rapeseed oils based on life cycle assessment. *Ocl*, 20(4), A401.
- BECKER, M.Y., KOHLHEB, N., HUNGER, S., ESCHRICH, S., MÜLLER, R., & AURICH, A. (2020). Early-stage sustainability assessment of biotechnological processes: A case study of citric acid production. *Engineering in Life Sciences*, 20(3-4), 90-103.
- BORDIGNON, F., TROCINO, A., STURARO, E., MARTÍNEZ-LLORENS, S., TOMAS-VIDAL, A., XICCATO, G., & BERTON, M. (2023). Fish oil substitution with vegetable oils in diets for greater amberjack (*Seriola dumerili*): A consequential life cycle assessment approach. *Aquaculture*, 563, 738903.
- BRAVI, M., COPPOLA, F., CIAMPALINI, F., & PULSELLI, F.M. (2007). Comparing renewable energies: estimating area requirement for biodiesel and photovoltaic solar energy. *Energy Sustain*, 105, 187-196.
- CHIARAMONTI, D., & RECCHIA, L. (2010). Is life cycle assessment (LCA) a suitable method for quantitative CO₂ saving estimations? The impact of field input on the LCA results for a pure vegetable oil chain. *Biomass and bioenergy*, 34(5), 787-797.
- DE MARCO, I., MIRANDA, S., RIEMMA, S., & IANNONE, R. (2016). Biodiesel production from sunflower: An environmental study. *Chemical Engineering Transactions*, 49, 331-336.
- DE MORA, E.F., TORRES, C., VALERO, A., & ZAMBRANA, D. (2013). Defossilisation assessment of biodiesel life cycle production using the ExROI indicator. *International Journal of Thermodynamics*, 16(2), 81-86.
- DENYER, D. & TRANFIELD, D., Producing a Systematic Review. In *The Sage Handbook of Organizational Research Methods*; Sage Publications Ltd.: Thousand Oaks, CA, USA, 2009; pp. 671-689.

- EUROPEAN COMMISSION (2023). Oilseeds and Protein Crops. <https://agri-data.ec.europa.eu/extensions/DataPortal/oilseeds-protein-crops.html>
- EVOLA, R.S., PEIRA, G., VARESE, E., BONADONNA, A., & VESCE, E. (2022). Short food supply chains in Europe: scientific research directions. *Sustainability*, 14(6), 3602.
- FERNÁNDEZ-RÍOS, A., CEBALLOS-SANTOS, S., LASO, J., CAMPOS, C., CRISTÓBAL, J., MARGALLO, M., ALDACO, R. & RUIZ-SALMÓN, I. (2022). From the sea to the table: The environmental impact assessment of fishing, processing, and end-of-life of albacore in Cantabria. *Journal of Industrial Ecology*, 26(6), 1934-1946.
- GALUSNYAK, S.C., PETRESCU, L., & CORMOS, C.C. (2022). Classical vs. reactive distillation technologies for biodiesel production: An environmental comparison using LCA methodology. *Renewable Energy*, 192, 289-299.
- HUARACHI, D.A.R., GONÇALVES, G., DE FRANCISCO, A.C., CANTERI, M.H.G., & PIEKARSKI, C.M. (2020). Life cycle assessment of traditional and alternative bricks: A review. *Environmental Impact Assessment Review*, 80, 106335.
- KACHRIMANIDOU, V., IOANNIDOU, S.M., LADAKIS, D., PAPAPOSTOULOU, H., KOPSAHELIS, N., KOUTINAS, A.A., & KOOKOS, I.K. (2021). Techno-economic evaluation and life-cycle assessment of poly (3-hydroxybutyrate) production within a biorefinery concept using sunflower-based biodiesel industry by-products. *Bioresource Technology*, 326, 124711.
- KHATRI, P., & JAIN, S. (2017). Environmental life cycle assessment of edible oils: a review of current knowledge and future research challenges. *Journal of Cleaner Production*, 152, 63-76.
- LASO, J., MARGALLO, M., FULLANA, P., BALA, A., GAZULLA, C., IRABIEN, Á., & ALDACO, R. (2017). When product diversification influences life cycle impact assessment: A case study of canned anchovy. *Science of the Total Environment*, 581, 629-639.
- NABAVI-PELESARAEI, A., AZADI, H., VAN PASSEL, S., SABER, Z., HOSSEINI-FASHAMI, F., MOSTASHARI-RAD, F., & GHASEMI-MOBTAKER, H. (2021). Prospects of solar systems in production chain of sunflower oil using cold press method with concentrating energy and life cycle assessment. *Energy*, 223, 120117.
- NOTARNICOLA, B., TASSIELLI, G., RENZULLI, P.A., CASTELLANI, V., & SALA, S. (2017). Environmental impacts of food consumption in Europe. *Journal of cleaner production*, 140, 753-765.

- NUCCI, B., PUCCINI, M., PELAGAGGE, L., VITOLO, S., & NICOLELLA, C. (2014). Improving the environmental performance of vegetable oil processing through LCA. *Journal of cleaner production*, 64, 310-322.
- ÖZILGEN, M., & SORGÜVEN, E. (2011). Energy and exergy utilization, and carbon dioxide emission in vegetable oil production. *Energy*, 36(10), 5954-5967.
- PARI, L., SUARDI, A., FORLEO, M.B., COALOA, D., PALMIERI, N. Environmental Impacts and Economic Performance of Major Oil Crops in Italy. In: *Proceedings of the 26th European Biomass Conference: Setting the Course for a Biobased Economy*, Copenhagen, Denmark, 14-18 May 2018; pp. 1444-1449.
- PEREIRA, O., URBICAÍN, G., RODRÍGUEZ, A., CALLEJA, A., AYESTA, I., & DE LACALLE, L.L. (2019). Process performance and life cycle assessment of friction drilling on dual-phase steel. *Journal of Cleaner Production*, 213, 1147-1156.
- PEREIRA, O., MARTÍN-ALFONSO, J.E., RODRÍGUEZ, A., CALLEJA, A., FERNÁNDEZ-VALDIVIELSO, A., & DE LACALLE, L.L. (2017). Sustainability analysis of lubricant oils for minimum quantity lubrication based on their tribo-rheological performance. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1419-1429.
- REQUENA, J.S., GUIMARAES, A.C., ALPERA, S.Q., GANGAS, E.R., HERNANDEZ-NAVARRO, S., GRACIA, L.N., MARTIN-GIL J. & CUESTA, H.F. (2011). Life Cycle Assessment (LCA) of the biofuel production process from sunflower oil, rapeseed oil and soybean oil. *Fuel Processing Technology*, 92(2), 190-199.
- ROY, P., NEI, D., ORIKASA, T., XU, Q., OKADOME, H., NAKAMURA, N., & SHIINA, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of food engineering*, 90(1), 1-10.
- SAGET, S., COSTA, M., STYLES, D., & WILLIAMS, M. (2021). Does circular reuse of chickpea cooking water to produce vegan mayonnaise reduce environmental impact compared with egg mayonnaise?. *Sustainability*, 13(9), 4726.
- SCHMIDT, J.H. (2015). Life cycle assessment of five vegetable oils. *Journal of Cleaner Production*, 87, 130-138.
- SIEVERDING, H. L., ZHAO, X., WEI, L., & STONE, J.J. (2016). Life-cycle assessment of oilseeds for biojet production using localized cold-press extraction. *Journal of environmental quality*, 45(3), 967-976.
- SIMONE, M., BIENTINESI, M., NICOLELLA, C., & PETARCA, L. (2009). Integration of a small biofuel refinery in a rural context. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(9), 1191-1205.

- SPINELLI, D., JEZ, S., & BASOSI, R. (2012). Integrated Environmental Assessment of sunflower oil production. *Process Biochemistry*, 47(11), 1595-1602.
- STEPHENSON, A.L., VON BLOTTNITZ, H., BRENT, A.C., DENNIS, J.S., & SCOTT, S.A. (2010). Global warming potential and fossil-energy requirements of biodiesel production scenarios in South Africa. *Energy & Fuels*, 24(4), 2489-2499.
- US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (January 12, 2023). Production of major vegetable oils worldwide from 2012/13 to 2022/2023, by type (in million metric tons) [Graph]. In Statista. Retrieved September 29, 2023, from <https://www.statista.com/statistics/263933/production-of-vegetable-oils-worldwide-since-2000/>
- VAN MIERLO, K., BAERT, L., BRACQUENÉ, E., DE TAVERNIER, J., & GEE-RAERD, A. (2022). Moving from pork to soy-based meat substitutes: Evaluating environmental impacts in relation to nutritional values. *Future Foods*, 5, 100135.
- VOLPE, V., DE FEO, G., DE MARCO, I., & PANTANI, R. (2018). Use of sunflower seed fried oil as an ecofriendly plasticizer for starch and application of this thermoplastic starch as a filler for PLA. *Industrial Crops and Products*, 122, 545-552.
- WAHYONO, Y., HADIYANTO, H., GHEEWALA, S.H., BUDIHardJO, M.A., ADIANSYAH, J., WIDAYAT, W., & CHRISTWARDANA, M. (2023a). Life cycle assessment for evaluating the energy balance of the multi-feedstock biodiesel production process in Indonesia. *International Journal of Ambient Energy*, 44(1), 1255-1270.
- WAHYONO, Y., HADIYANTO, H., GHEEWALA, S.H., BUDIHardJO, M.A., ADIANSYAH, J.S., WIDAYAT, W., & CHRISTWARDANA, M. (2023b). Evaluating the Environmental Impacts at the End Point Level of the Biodiesel Production Process from Multiple Feedstocks in Indonesia Through Life Cycle Assessment Methodology. *Waste and Biomass Valorization*, 1-17.
- WAHYONO, Y., HADIYANTO, H., GHEEWALA, S.H., BUDIHardJO, M.A., & ADIANSYAH, J.S. (2022). Evaluating the environmental impacts of the multi-feedstock biodiesel production process in Indonesia using life cycle assessment (LCA). *Energy Conversion and Management*, 266, 115832.

I benefici delle certificazioni ISO 14001 ed EMAS nel settore delle carni in Italia: un'analisi empirica

Andrea Del Chicca
University of Pisa
Andrea Apicella
University of Pisa
Biasino Farace
University of Pisa
Angela Tarabella
University of Pisa

ABSTRACT

Il settore dell'alimentazione di origine animale occupa una posizione di rilievo nell'economia e nella cultura di molteplici nazioni. Anche in Italia, il settore della carne, con un valore economico di circa 30 miliardi di euro, riesce a rappresentare 1/6 dell'intero comparto alimentare italiano.

Tuttavia, si rileva come le attività di produzione della carne abbiano un impatto significativo praticamente su tutti gli aspetti ambientali. Ne consegue la necessità di adottare misure concrete per garantire la sostenibilità, un imperativo per le organizzazioni di questo settore e non solo. Infatti, sempre più aziende stanno adottando politiche ambientali, grazie all'utilizzo delle certificazioni.

L'obiettivo di questa ricerca è stato analizzare la diffusione delle certificazioni ISO 14001 ed EMAS nel settore delle carni in Italia e la correlazione con il posizionamento economico finanziario delle imprese, per valutarne i potenziali benefici.

L'analisi, sviluppata con l'utilizzo del database Orbis, si è concentrata sulle grandi aziende produttrici di carne italiane, identificate tramite i codici NACE 1011, 1012 e 1013.

Dai risultati ottenuti, sull'analisi di 179 aziende target, 32 risultano certificate ISO 14001, 16 risultano registrate EMAS e 12 posseggono entrambe le certificazioni. Inoltre, l'analisi dei dati finanziari ha rivelato che le aziende certificate ISO 14001 e registrate EMAS presentano indicatori reddituali più elevati rispetto a quelle senza certificazione. Le aziende che possiedono entrambe le certificazioni mostravano indicatori reddituali superiori sia rispetto a quelle con una sola certificazione, sia rispetto a quelle senza certificazioni.

La correlazione positiva osservata tra la certificazione ambientale e i dati finanziari lascia interpretare come la redditività dell'impresa possa rappresentare un elemento di valorizzazione delle tematiche ambientali. Questo

risultato richiede ulteriori approfondimenti per comprendere meglio la relazione di causa ed effetto tra le due variabili.

PAROLE CHIAVE: sostenibilità ambientale, certificazione ISO, regolamento EMAS, settore carne

Introduzione

L'industria alimentare derivante da fonti animali svolge un ruolo di rilievo sia dal punto di vista economico che culturale in molte nazioni. Un'analisi storica condotta dal professor Wilhem Windhorst (2021), e un'indagine sulle statistiche riguardanti la produzione e il consumo di carne dal 1970 al 2019, hanno messo in luce chiaramente come questo settore abbia registrato progressi significativi nel corso degli anni.

Questa trasformazione mette in risalto le radici profonde dell'industria della carne nella storia umana, enfatizzando il suo ruolo cruciale nei settori della nutrizione, della sussistenza e dell'economia. Nel periodo dal 1970 al 2019, la ricerca evince un notevole aumento nella produzione totale, passando da 100,7 milioni di tonnellate a 337,2 milioni di tonnellate nel mondo, registrando un incremento del 234,9% (Windhorst, 2021). Secondo le proiezioni FAO al 2023 il trend continuerà ad essere crescente fino a raggiungere 350,5 milioni di tonnellate (FAO, 2023).

L'industria della carne ha subito significative metamorfosi nel corso degli anni, adattandosi all'incremento della popolazione globale, alle variazioni nei modelli alimentari e all'industrializzazione agricola.

Un quadro che diviene più complesso se si prendono in considerazione le sfide legate alla sostenibilità ambientale, all'applicazione dei principi di economia circolare e all'etica nell'ambito della produzione (Djekic and Tomasevic, 2016, Kumar et al., 2022, Roos et al. 2014).

L'obiettivo di questa ricerca è quello di indagare la diffusione delle due principali certificazioni in termini di sostenibilità ambientale, ISO 14001 ed EMAS, nel settore delle carni in Italia e la correlazione con il posizionamento economico finanziario delle imprese per valutarne i potenziali benefici.

1 I sistemi di gestione ambientali

Oggi, uno dei temi più dibattuti riguarda la sostenibilità e le sue molteplici e intricate dimensioni. L'evoluzione in questo settore ha provocato una trasformazione profonda del rapporto tra le aziende e l'ambiente,

introducendo nuove restrizioni ma, al contempo, aprendo nuove opportunità (Kuzlyakina, 2019).

Per rimanere competitive nel mercato globale attuale, le imprese devono superare la mera considerazione del fattore economico, sviluppando strategie sociali e ambientali che soddisfino tutte le esigenze dei propri interlocutori, sia interni che esterni. In particolare, per rispondere alle esigenze delle parti interessate, uno degli strumenti più diffusi è integrare la gestione ambientale nelle loro attività (Djekic I. and Tomasevic I., 2016, Calderon et al., 2010).

In tal senso, la certificazione di Sistema di Gestione Ambientale (SGA) si configura come uno strumento che le aziende possono impiegare per dimostrare il loro impegno nella protezione dell'ambiente e nella gestione sostenibile delle risorse.

Come noto, gli standard di riferimento per la certificazione dei sistemi di gestione ambientale attualmente in vigore sono lo standard internazionale ISO 14001 nell'ultima revisione del 2015 e il regolamento EMAS n° 1221/2009 (ISO, 2015, Regulation (EC) No. 1221/2009).

Come riporta lo standard ISO, “un sistema di gestione ambientale ben progettato aiuta a identificare e gestire meglio i rischi ambientali, ridurre gli impatti e fornire vantaggi economici e sociali”.

Inoltre, la certificazione del SGA può anche contribuire alla creazione di un'immagine positiva dell'azienda, che si presenta come sensibile ai problemi ambientali e attenta alla sostenibilità, evitando spiacevoli fenomeni di greenwashing.

Il lungo percorso da seguire per ottenere la certificazione ambientale in uno degli standard sopra menzionati comporta un impegno concreto delle imprese, che aiuta le imprese a prendere consapevolezza degli impatti ambientali generati.

Inoltre, l'adozione degli standard comporta per le imprese la messa a disposizione di risorse dedicate al raggiungimento dei singoli obiettivi ambientali.

Lo standard internazionale ISO 14001 insieme allo European Eco Management and Audit Scheme sono i principali standard di riferimento in termini di SGA, la quale può essere applicata a qualsiasi tipo di attività industriale o commerciale.

1.1 Lo standard UNI EN ISO 14001:2015

La certificazione UNI EN ISO 14001 è uno standard internazionale che delinea i requisiti per un sistema di gestione ambientale.

Lo sviluppo di questo modello risale al 1996, quando per la prima volta è stato pubblicato uno degli standard Environmental management systems (EMS) più utilizzati al mondo, l'ISO 14001.

Questo standard nel tempo ha subito due principali rivisitazioni, nel 2004 e nel 2015, nelle quali l'organizzazione internazionale di standardizzazione ha cercato di aumentare sempre più il grado di specificità della stessa.

Come si evince dal confronto tra ISO 14001:2004 e ISO 14001:2015, effettuato da Perry Johnson Registrars, le principali differenze sono l'adozione della struttura ISO Annex SL, l'enfasi sulla leadership, il focus sulla gestione dei rischi, l'enfasi sulla misurazione degli obiettivi e sul cambiamento, ed infine, le modifiche ai requisiti di comunicazione e di sensibilizzazione.

Si rafforza così l'impegno verso gli standard internazionali legati a principi Agenda 2030 (UN, 2015).

Questo standard fornisce un quadro per le organizzazioni per identificare e controllare il loro impatto e migliorare le loro prestazioni ambientali.

La ISO 14001 è applicabile volontariamente a qualsiasi organizzazione, indipendentemente dalle sue dimensioni, settore o posizione. Lo standard consiste in un insieme di requisiti che un'organizzazione deve soddisfare per stabilire, implementare, mantenere e migliorare continuamente un sistema di gestione ambientale.

2 Il Regolamento Emas n. 1221/2009

Il regolamento CE n. 1221/2009, conosciuto come EMAS (Eco-Management and Audit Scheme), definisce un sistema comunitario eco gestione e audit, introdotto per la prima volta negli anni '90. Si tratta di uno strumento volontario che trova espressione nell'ambito del Quinto programma d'azione per l'ambiente europeo, che ha subito due emendamenti, il primo per includere il settore non produttivo (EMAS II, 2001) e il secondo per estendersi ai luoghi commerciali al di fuori dell'UE (EMAS III, 2009). Il regolamento EMAS mira a promuovere il miglioramento dell'efficienza ambientale delle attività industriali e a numerose similitudini con lo standard ISO 14001. Uno dei suoi obiettivi principali è quello di favorire l'impegno delle aziende nell'adozione di obiettivi di protezione ambientale e nella comunicazione di questi impegni al pubblico con la disposizione della dichiarazione ambientale.

A partire dal 2001, il Regolamento EMAS ha incluso i requisiti per un Sistema di Gestione Ambientale (SGA) basato sulla norma ISO 14001. Di conseguenza, le modifiche introdotte dalla versione più recente della norma ISO 14001:2015 sono state recentemente integrate anche nel Regolamento EMAS. Tuttavia, permangono differenze significative tra le due norme.

In tabella 1 si riportano le principali evidenze:

	ISO 14001:2015	EMAS CE n. 1221/2009
Natura	Norma privata	Regolamento pubblico
Validità	Validità per tre anni ma è vincolata all'esito positivo di audit di mantenimento annuali finalizzati a verificare il corretto funzionamento del SGA	Valida per tre anni, al termine dei quali è possibile procedere al rinnovo seguendo l'iter della prima registrazione
Comunicazione esterna	Non obbligatoria	Prevede di mettere a disposizione del pubblico una Dichiarazione Ambientale
Scopo	Organizzazione di tutti i settori	Organizzazione di tutti i settori e applicate sperimentalmente nei distretti industriali

Tabella 1 – Principali differenze tra ISO 14001 ed EMAS

3 Metodologia di ricerca

Per condurre la seguente ricerca e analizzare le società in base al settore merceologico di appartenenza, si è utilizzato la piattaforma Orbis. Questa banca dati fornisce informazioni finanziarie standardizzate e consente di accedere a una serie storica di dati, offrendo *rating* comparabili e indicatori economico-finanziari per valutare le prestazioni delle società.

Per la ricerca, sono state analizzate le società con codici NACE specifici legati alla lavorazione e conservazione di carne, per la lavorazione e conservazione di carne (1011); per la lavorazione e conservazione di carne di volatili (1012); per la produzione di prodotti a base di carne, compresa la carne di volatili (1013).

Successivamente, si è selezionato i parametri “Large” e “Very Large” sulla piattaforma Orbis per includere solo società di queste dimensioni.

Dato che la ricerca si basa esclusivamente sulle aziende italiane, si è impostato l'area geografica di appartenenza per includere solo società aventi la sede legale in Italia.

Infine, abbiamo escluso dalla ricerca società senza dati finanziari recenti, autorità pubbliche, stati e governi. Questa esclusione è finalizzata a garantire che i dati utilizzati fossero aggiornati e pertinenti alle società commerciali attive nel settore della lavorazione e produzione di carne in Italia.

Di seguito, nella tabella 2, si riporta il sommario di ricerca utilizzato per l'estrapolazione dei dati dalla piattaforma Orbis.

List export			
Product name	Orbis		
Update number	324003		
Software version	324		
Data update	15/07/2022		
Export date	21/07/2022		
Search Strategy			
	Search step	Step result	Search result
Stato	Società attive, Situazione sconosciuta	314.781.006	314.781.006
NACE	1011 – Lavorazione e conservazione di carne 1012 – Lavorazione e conservazione di carne di volatili 1013 – Produzione di prodotti a base di carne (compresa la carne di volatili)	266.394	182.225
Dimensioni	Large, Very Large	2.232.535	8.032
Area geografica	Italia	7.627.339	306
Boolean search	1 e 2 e 3 e 4		
TOTAL	306		
Search Options			
Financial searches	Exclude companies with no recent financial data		
	Exclude public authorities/states/governments		
Sets of accounts	The most recent accounts available		
Opzioni informazioni			
Fiscal year end	31/03		

Tabella 2 – Sommario di ricerca per estrapolazione dati da Orbis

La combinazione di tutti i fattori sopracitati ha portato ad una selezione finale di 306 aziende. Questo numero rappresenta l'insieme delle società identificate come potenziali target per la nostra analisi.

Tuttavia, al fine di condurre un'analisi statistica più accurata, si è

ritenuto necessario verificare che tutte le aziende identificate svolgessero effettivamente mansioni di lavorazione o produzione di carne, la quale ha portato all'esclusione di 36 aziende, in quanto dall'analisi del sito, non sono state trovate attestazioni o riferimenti alle attività indagate.

Come ultimo passaggio, è stato necessario escludere dalla ricerca tutte le aziende per le quali non è stato possibile trovare dati finanziari ed economici aggiornati.

La combinazione delle diverse fasi di analisi descritte sopra ci ha condotto a un risultato finale di 179 aziende che soddisfano i criteri stabiliti.

Le aziende selezionate costituiscono un campione di notevole interesse per la nostra ricerca e forniscono utili informazioni per ulteriori analisi e valutazioni nel campo della lavorazione e produzione di carne.

Dopo questa scrematura, la ricerca si è concentrata sulle aziende in possesso della certificazione UNI EN ISO 14001 da parte delle aziende rimanenti. Per condurre questa analisi, si è utilizzato il portale Accredia, che è l'ente designato dal governo italiano per attestare la competenza e l'imparzialità degli organismi e dei laboratori che verificano la conformità delle organizzazioni dei beni e dei servizi ai criteri stabiliti nelle norme.

Parallelamente, si è consultato il portale ISPRA, per accedere all'elenco delle organizzazioni registrate EMAS.

Il risultato ottenuto indica che le aziende produttrici e lavoratrici di carne aventi certificazione UNI EN ISO 14001 sono 32, mentre quelle in possesso della registrazione EMAS sono 16.

Un'ulteriore analisi ha riscontrato che 12 aziende nel nostro campione sono in possesso sia della certificazione UNI EN ISO 14001 che della registrazione EMAS.

4 Risultati di ricerca

Come accennato in precedenza, la ricerca si basa sull'utilizzo della piattaforma Orbis per creare un database completo per la nostra analisi. Per la sua creazione, si è estratto la denominazione sociale delle aziende italiane che operano nella produzione e lavorazione della carne, insieme agli indici di bilancio e ai flussi finanziari che ci permettono di comprendere la performance delle singole aziende e del settore nel suo complesso.

Come ultimo passo è necessario acquisire una comprensione dell'andamento economico e finanziario delle aziende coinvolte nell'indagine, conducendo una ricerca per identificare le aziende registrate EMAS e quelle che seguono lo standard UNI EN ISO 14001 per quanto riguarda la sostenibilità ambientale.

Le 179 imprese selezionate rappresentano circa l'80%, della quota

di mercato italiano nel settore della lavorazione e produzione di carne, una percentuale sicuramente significativa dell'intero contesto produttivo.

Per ottenere un'analisi completa delle aziende che compongono il settore della produzione e lavorazione della carne, si è provveduto a elaborare gli indicatori di redditività. Per avere una visione più approfondita della situazione finanziaria di tali aziende, si è reso necessario esaminare anche gli indici di liquidità e patrimoniali, attraverso l'impiego del coefficiente di solvibilità e del current ratio. Inoltre, un'analisi dettagliata dei flussi di cassa delle aziende prese in campione ha contribuito ad arricchire l'analisi complessiva.

Esaminando il coefficiente di solvibilità, che indica la capacità di un'impresa di onorare i propri debiti entro i termini di scadenza, si può osservare che la totalità delle aziende prese in esame presenta una capacità di sostenere i propri debiti in maniera più che adeguata. L'indice medio calcolato è pari a 37, il che implica che il patrimonio netto medio delle aziende target è superiore rispetto agli importi dei debiti contratti per mantenere l'operatività dell'azienda stessa.

Un aspetto ulteriore che richiede riflessione e analisi è il current ratio, che rappresenta l'indice che esprime la capacità di un'impresa di affrontare nuovi investimenti a breve termine dopo aver pagato tutti gli obblighi correnti. Con il confronto dei dati delle aziende prese in esame, è stato possibile determinare che questo indice medio è del 2%, risultando essere molto positivo.

Per completare l'analisi sulla liquidità, si è reso necessario esaminare i flussi di cassa generati dalle aziende che fanno parte del settore della produzione e lavorazione della carne. Il cash flow rappresenta una misura della capacità di un'azienda di autofinanziarsi senza dover ricorrere all'indebitamento.

Dall'analisi effettuata emerge che tutte le aziende analizzate presentano flussi di cassa positivi. Questo significa che tali aziende sono solide e in grado di far fronte ai propri impegni utilizzando la liquidità generata dalle loro attività principali. Il cash flow medio di euro 4.028.000 rappresenta un segnale positivo, indicando che le aziende hanno una gestione finanziaria sana e sono in grado di generare profitti sufficienti per sostenere le loro operazioni senza dover dipendere da finanziamenti esterni.

4.1 Confronto tra aziende certificate e non

L'obiettivo della presente ricerca consiste nell'identificare i potenziali benefici derivanti dall'applicazione della normativa UNI EN ISO 14001 e dall'adesione al sistema di registrazione EMAS. In questa sezione, procederemo a confrontare i risultati ottenuti precedentemente dalle aziende italiane attive nel settore della produzione e lavorazione della carne, le quali costituiscono l'80% della quota di mercato del settore stesso, con i risultati ottenuti esclusivamente dalle aziende certificate ISO, dalle aziende registrate

EMAS e da quelle che detengono entrambe le certificazioni. Successivamente, metteremo a confronto tali risultati con quelli delle aziende che non possiedono alcuna certificazione in termini di sostenibilità ambientale.

Nel primo studio condotto, si è dedicata particolare attenzione all'analisi della redditività nel settore della produzione e lavorazione delle carni in Italia. Come si è avuto modo di esaminare in precedenza, i valori medi dei principali indicatori di redditività, ovvero ROE, ROI e ROS, risultano rispettivamente pari all'8%, al 6% e al 5%.

La ricerca ha rivelato un'interessante correlazione tra la presenza della certificazione UNI EN ISO 14001 e l'incremento degli indici di redditività. Le aziende che hanno ottenuto questa certificazione ambientale sembrano godere di un vantaggio competitivo, registrando indici di redditività leggermente superiori alla media del settore. Più precisamente, tali aziende mostrano un ROE pari all'8,3%, un ROI pari al 6,5% e un ROS pari al 5,4%.

Dunque, i dati emersi dallo studio suggeriscono che l'implementazione delle linee guida fornite dallo standard UNI EN ISO 14001 comportano benefici economici per le aziende del settore delle carni, contribuendo a migliorare la performance finanziaria delle aziende.

Inoltre, rispetto ai flussi di cassa medi del settore, che si attestano a euro 4.028.000, è emerso che le aziende certificate secondo la normativa UNI EN ISO 14001 presentano un notevole incremento, raggiungendo valori medi pari a euro 6.044.000.

L'ultima fase dell'analisi si concentra sull'esame della liquidità aziendale, approfondendo gli indici di disponibilità e il coefficiente di solvibilità. Prendendo in considerazione i valori medi precedentemente analizzati per il settore delle carni, ovvero un indice di disponibilità pari a 2 e un coefficiente di solvibilità pari a 37, si può notare che anche le aziende che hanno ottenuto le certificazioni in questione presentano valori sostanzialmente simili. In particolare, queste aziende registrano un indice di disponibilità pari a 2 e un coefficiente di solvibilità pari a 31.

Proseguendo l'analisi, è stato interessante esaminare le aziende che hanno ottenuto la registrazione EMAS. I risultati ottenuti sono stati in linea con quelli delle aziende certificate secondo lo standard UNI EN ISO 14001. In termini di redditività, gli indici medi rilevati sono pari all'8,5% per il ROE, al 6,9% per il ROI e al 5,4% per il ROS.

Per quanto riguarda la valutazione dei flussi di cassa emerge un incremento significativo rispetto ai valori medi del settore. Le aziende che hanno ottenuto la registrazione EMAS mostrano un cash flow pari a euro 5.670.000, superando così la media di settore.

Proseguendo con l'analisi della liquidità, si rileva anche in questo caso gli indici di disponibilità e il coefficiente di solvibilità risultano essere allineati con quelli del settore. In particolare, l'indice di disponibilità medio

delle aziende con registrazione EMAS si attesta a 2, mentre il coefficiente di solvibilità medio raggiunge il valore di 29.

L'ottenimento di queste certificazioni rappresenta in definitiva un impegno da parte delle aziende a operare in maniera responsabile dal punto di vista ambientale. Oltre ai potenziali benefici economici riscontrati, ciò dimostra anche una volontà concreta di adottare pratiche sostenibili e di contribuire alla tutela dell'ambiente. L'integrazione di questi standard ambientali nella gestione aziendale rappresenta quindi un vantaggio competitivo, consentendo alle aziende di rispondere alle esigenze dei consumatori sempre più orientati verso prodotti e servizi a basso impatto ambientale (Arimura T. H. et al., 2011).

Inoltre, la combinazione di pratiche sostenibili con una gestione finanziaria solida può offrire un vantaggio distintivo nel settore delle carni, rispondendo alle aspettative dei consumatori attenti all'ambiente e al benessere animale per creare valore a lungo termine per l'azienda.

La presente ricerca va oltre l'analisi dei benefici derivanti dalle certificazioni UNI EN ISO 14001 e dalla registrazione EMAS, ma si concentra sulla combinazione di entrambi gli standard al fine di comprenderne appieno i vantaggi che ne derivano.

Ciò che emerge dalle aziende che adottano entrambe le normative è che tutte queste realtà aziendali presentano indici di redditività superiori sia rispetto alle medie settoriali, sia rispetto alle aziende che adottano tali normative in maniera separata.

Questo dato sottolinea l'importanza di implementare un sistema di gestione ambientale integrato, che includa sia le linee guida fornite dalla certificazione UNI EN ISO 14001 sia i requisiti previsti dalla registrazione EMAS. L'adozione congiunta di entrambe questi standard sembra produrre risultati sinergici, che si riflettono in una maggiore redditività per le aziende coinvolte.

In particolare, si può notare che le 12 aziende prese in considerazione, le quali adottano entrambe le certificazioni UNI EN ISO 14001 ed EMAS, registrano indici di redditività molto elevati. In particolare, l'ROE medio si attesta al 9%, l'ROI medio raggiunge il 7% e il ROS medio si posiziona al 6%.

Si riscontra inoltre che i flussi di cassa delle aziende che adottano entrambi gli standard presentano un notevole vantaggio. Essi si rivelano ampiamente superiori sia rispetto alle medie settoriali, sia rispetto alle aziende che adottano queste normative in maniera separata. In particolare, i flussi di cassa medi delle aziende considerate raggiungono la cifra di euro 9.241.000.

Questi dati confermano che l'integrazione degli standard UNI EN ISO 14001 e della registrazione EMAS porta a risultati positivi sia in termini di redditività che di flussi finanziari.

Infine, il confronto degli indici di disponibilità ed il coefficiente di solvibilità con le medie settoriali e i risultati ottenuti dalle aziende che adottano le principali normative in maniera separata, non risulta avere grandi oscillazioni, mantenendosi rispettivamente a 2 e 36.

È interessante notare che, anche per completezza, è stata condotta un'analisi sulle aziende che non adottano alcuna certificazione di livello ambientale. Questo gruppo comprende le restanti 126 imprese prese in considerazione. I risultati evidenziano che anche per queste l'indice di disponibilità e la solvibilità raggiungono valori simili alle medie settoriali, e di conseguenza, anche alle aziende che vantano certificazioni ambientali, mentre nel contesto dell'analisi della redditività, si osserva che le aziende esaminate presentano indici di redditività inferiori rispetto alle altre. In particolare, si rileva un ROI medio del 4,8%, un ROE medio del 6,9% e un ROS medio del 4,4%. Questi valori si collocano al di sotto delle medie settoriali e ben oltre le aziende che possiedono certificazioni ambientali.

Inoltre, l'analisi dei flussi di cassa rivela una situazione altrettanto svantaggiosa per queste aziende, con cash flow pari a euro 2.684.000.

Questi risultati sembrano confermare l'efficacia di adottare un sistema di gestione ambientale che sia riconosciuto e rispetti gli standard UNI EN ISO 14001 e la registrazione EMAS.

L'adozione di una singola certificazione si è dimostrata essere un passo importante nella giusta direzione, evidenziando un miglioramento relativamente modesto ma comunque significativo degli indici di redditività e dei flussi di cassa. Tuttavia, è importante notare che il possesso di entrambe le certificazioni ha prodotto risultati ancora più positivi, portando ad un aumento sostanziale di tali indici.

4.2 Le aziende in possesso di entrambi le certificazioni

Per garantire una ricerca completa ed esaustiva, è necessario andare oltre la mera valutazione dei requisiti di certificazione ambientale. Pertanto, si considera anche la distribuzione territoriale delle aziende prese in esame, ovvero la loro presenza geografica e l'eventuale concentrazione in determinate aree.

La dimensione aziendale è un altro elemento chiave preso in considerazione. Esaminare se le aziende che aderiscono a un sistema di gestione ambientale abbiano dimensioni diverse rispetto a quelle che non aderiscono, consente di valutare se vi siano delle tendenze legate alla sostenibilità che caratterizzano particolari segmenti di mercato o se sia diffusa in maniera uniforme in tutti i settori industriali.

Non meno importante, si analizzano le quote di mercato delle aziende coinvolte. Questo fattore ci permette di comprendere se le aziende che si distinguono per le loro pratiche di sostenibilità ambientale sono

anche in grado di ottenere una quota significativa del mercato di riferimento.

Esaminando le aziende sulla base della loro distribuzione territoriale, emerge che 27 delle imprese certificate secondo la norma UNI EN ISO 14001 ha sede principale nel centro-nord del Paese, in particolare nelle regioni Lombardia, Piemonte, Friuli-Venezia Giulia ed Emilia-Romagna.

Un'ulteriore analisi rivela un leggero aumento percentuale per le aziende registrate secondo EMAS; infatti, 14 di queste ha sede e svolge la propria attività nel centro-nord.

Osservando attentamente i dati, si nota che ben 11 aziende su 12 che possiedono sia la certificazione UNI EN ISO 14001 che la registrazione EMAS hanno come sede principale e operano nel centro nord del Paese.

Questi risultati relativi alla distribuzione territoriale delle aziende certificate rappresentano un elemento di interesse e forniscono un punto di partenza per ulteriori indagini sulle ragioni sottostanti a questa concentrazione geografica, come ad esempio la presenza di infrastrutture e risorse che agevolano l'implementazione di pratiche sostenibili, nonché l'interazione con le politiche regionali e locali incentrate sulla protezione dell'ambiente.

In conclusione, l'analisi geografica delle aziende certificate secondo gli standard UNI EN ISO 14001 e EMAS evidenzia una predominanza di aziende con sede e attività nel centro-nord del Paese.

Al fine di valutare la dimensione aziendale delle imprese prese in esame, sono stati analizzati tre fattori: il numero di dipendenti, il fatturato medio generato e la quota di mercato detenuta nel settore di riferimento.

Dall'analisi emerge che le aziende che entrambi le certificazioni registrano un fatturato medio significativamente superiore rispetto agli altri casi presi in considerazione. Queste aziende raggiungono una media di euro 245.313.000, mentre quelle che possiedono solo la certificazione UNI EN ISO 14001 generano un fatturato medio di euro 213.752.200, e quelle con soltanto la registrazione EMAS generano un fatturato medio di euro 71.226.353.

Tuttavia, è importante sottolineare che i dati presentati rappresentano solo una media e potrebbero esserci variazioni significative tra le singole aziende. Alcune imprese potrebbero registrare un fatturato molto più elevato rispetto alla media, mentre altre potrebbero registrare un fatturato inferiore.

Nel contesto dell'analisi, focalizzandoci sul nostro campione composto da 179 aziende, emerge un dato significativo riguardante quelle che non possiedono alcun riconoscimento ambientale. Queste imprese pur presentano un fatturato medio importante, risulta essere modesto in confronto alla media del settore, e ammonta a euro 69.905.000.

Questa osservazione solleva un interessante interrogativo sulle possibili implicazioni dell'adozione di un riconoscimento ambientale sulle performance economiche delle aziende. È plausibile ipotizzare che l'adozione di pratiche sostenibili possa incidere positivamente sulla competitività delle imprese e sulla loro capacità di generare ricavi consistenti.

All'interno dell'analisi, si esaminano le aziende considerando il numero di dipendenti che fanno parte del loro organico. Dai dati rilevati emerge che le aziende che possiedono sia la certificazione che la registrazione presentano una media di 634 dipendenti. Al contrario, le aziende che dispongono solo della registrazione EMAS o solo della certificazione ISO 14001 presentano rispettivamente una media di 320 e 413 dipendenti.

Si è considerato anche il caso delle aziende che non dispongono di alcuna certificazione a livello ambientale: queste ultime presentano una media di soli 82 dipendenti. Il dato sottolinea la differenza significativa nella dimensione organizzativa rispetto alle aziende che hanno ottenuto sia la certificazione che la registrazione.

I risultati della ricerca conducono alla conclusione che le aziende che hanno ottenuto sia la certificazione che la registrazione sono quelle di maggiori dimensioni. Queste imprese rappresentano il 12% della quota di mercato totale nel settore della lavorazione e produzione di carne. Tale dato può costituire un primo indicatore che correla la crescita aziendale all'impegno verso la sostenibilità.

È importante sottolineare che i risultati ottenuti sono specifici per il settore analizzato e potrebbero non essere direttamente generalizzabili ad altri settori. Tuttavia, forniscono un'indicazione significativa sul valore strategico di un sistema di gestione ambientale e delle certificazioni ad esso correlate.

Conclusioni

La presente ricerca si basa su un campione rappresentativo di 179 aziende, estratte dal database Orbis, al fine di esaminare l'impatto degli standard UNI EN ISO 14001 e della registrazione EMAS sui risultati economico-finanziari delle organizzazioni. Si è posta l'obiettivo di indagare la relazione tra l'adozione di tali normative e le performance finanziarie delle imprese, fornendo una solida base empirica per comprendere i benefici derivanti dalla sostenibilità ambientale.

L'analisi dei dati finanziari e delle performance delle aziende incluse nel campione ha permesso di evidenziare risultati significativi. In particolare, le aziende che hanno implementato sia la certificazione UNI EN ISO 14001 che la registrazione EMAS hanno mostrato risultati economico-fi-

nanziari superiori rispetto alle aziende non certificate e alla media di settore. Questo implica che l'adozione congiunta di questi standard è associata a una performance finanziaria più robusta e positiva per le aziende coinvolte.

Inoltre, si evince che l'adesione a queste normative conferisce alle aziende un vantaggio competitivo significativo, in particolare, aumenta la fiducia dei consumatori e degli investitori, favorendo la fidelizzazione dei clienti esistenti e l'attrazione di nuovi clienti sensibili alle questioni ambientali. In definitiva, tali certificazioni possono aprire nuove opportunità di mercato, consentendo alle aziende di differenziarsi dai concorrenti e di accedere a settori o mercati in cui la sostenibilità ambientale è un requisito chiave.

L'implementazione congiunta di queste normative ambientali può inoltre generare benefici finanziari a lungo termine. Attraverso la riduzione dei costi energetici, l'ottimizzazione dei processi produttivi e la gestione efficiente delle risorse, le aziende possono migliorare la loro redditività e ridurre i rischi finanziari associati all'aumento dei costi delle risorse o alle fluttuazioni dei prezzi delle materie prime.

I risultati emersi da questa ricerca si basano su un'analisi rigorosa e accurata dei dati finanziari delle aziende coinvolte nel campione. Tuttavia, è importante considerare che l'efficacia degli standard UNI EN ISO 14001 e della registrazione EMAS dipende dalla volontà e dall'impegno effettivo delle aziende nel promuovere una cultura aziendale orientata alla sostenibilità e nell'integrare la gestione ambientale in tutte le fasi delle loro operazioni e che la correlazione positiva osservata tra la certificazione ambientale e i dati finanziari delle aziende necessita ulteriori approfondimenti per comprendere meglio la relazione di causa ed effetto tra le due variabili.

Bibliografia

- ALLIEVI F., VINNARI M., LUUKKANEN J., (2015). Meat consumption and production. Analysis of efficiency, sufficiency and consistency of global trends, *Journal of Cleaner Production*, 92, pp. 142-151.
- ARIMURA, T.H., N. DARNALL, AND H. KATAYAMA. 2011. "Is ISO 14001 a Gateway to More Advanced Voluntary Action? The Case of Green Supply Chain Management." *Journal of Environmental Economics Management* 61:170-182.
- CALDERÓN L., IGLESIAS L., LACA A., HERRERO M., DÍAZ M., (2010). The utility of Life Cycle Assessment in the ready meal food industry, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 54, Issue 12, pp. 1196-1207.
- CHEN T.B., CHAI L.T., (2010). Attitude towards the environment and green products: consumers' perspective. *Management Science and Engineering*, 4, pp. 27-39.
- CHRISTINI, G., FETSKO, M., & HENDRICKSON, C., (2004). Environmental management systems and ISO 14001 certification for construction firms. *Journal of construction engineering and management*, vol.130, no. 3, pp. 330-336.
- DARNALL N., HENRIQUES I., SADORSKY P., (2008). 'Do Environmental Management Systems Improve Business Performance in an International Setting?' *Journal of International Management* 14, pp. 364-376.
- DJEKIC I. (2015). Environmental impact of meat industry. Current status and future perspectives, *Procedia Food Science*, 5, pp. 61-64.
- DJEKIC I., TOMASEVIC I. (2016). Environmental impacts of the meat chain – Current status and future perspectives, *Trends in Food Science & Technology*, Volume 54, Pages 94-102.
- FAO (2023). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032*, OECD Publishing. Paris, France.
- KUMAR P., ABUBAKAR A., KUMAR VERMA A., AHMED P., MEHTA N., HAYAT M., KAKA U. & SAZILI A. (2022). New insights in improving sustainability in meat production: opportunities and challenges, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.
- KUZLYAKINA YU.A., YURCHAK Z.A., BASKHAMDGIEVA B.D., (2019). ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL ASPECTS AT MEAT PROCESSING PLANTS ACCORDING TO ISO 14001. *Food systems*, 2(3):23-28.
- IRALDO F., TESTA F., TESSITORE S., DADDI T., NUCCI B., (2013). EMAS implementation in EU: level of adoption, benefits, barriers and regulatory relief, 2, pp. 11-20.

- ISO, (2015). ISO 14001:2015. Environmental Management Systems-Requirements with Guidance for Use.
- PACO A.F., RAPOSO M.L., FILHO W.L., (2009). 'Identifying the green consumer: a segmentation study'. *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, 17, pp. 17-25.
- PANE HADEN S.S., OYLER J.D., HUMPHREYS J.H., (2009). 'Historical, practical, and theoretical perspectives on green management: An exploratory analysis'. *Management Decision*, 47, pp. 1041-1055.
- PORTER M.E., VAN DER LINDE C., (1995). 'Toward a new conception of the environment competitiveness relationship'. *Journal of Economic Perspectives*, 9, pp. 97-118.
- REGULATION (EC) No. 1221/2009, Regulation (EC) No. 1221/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the Voluntary Participation by Organizations in a Community Eco-Management and Audit Scheme (EMAS), repealing Regulation (EC) N. 761/2001 and Commission Decisions 2001/681/EC and 2006/193/EC.
- RENNINGS K., ZIEGLER A., ANKELE K., HOFFMANN E., 2006. 'The influence of different characteristics of the EU environmental management and auditing scheme on technical environmental innovations and economic performance'. *Ecological Economics* 57, pp. 45-59.
- RÖÖS E., EKELUND L., TJÄRNEMO H. (2014). Communicating the environmental impact of meat production: challenges in the development of a Swedish meat guide, *Journal of Cleaner Production*, Volume 73, Pages 154-164.
- STEGER, U. (2000). 'Environmental Management Systems: Empirical Evidence and Further Perspectives'. *European Management Journal*, 18, pp. 23-37.
- WINDHORST, HANS-WILHELM (2021): "The red-white shift in global meat production". In: *Zootecnica international: monthly journal of poultry science and breeding technology*, 43, pp. 32-37.
- SITO WEB ISMA MERCATI: <https://www.ismeamercati.it/analisi-e-studio-filiere-agroalimentari>
- SITO WEB ISTAT: <https://www.istat.it/>
- SITO WEB ISO: <https://www.iso.org/home.html>
- SITO WEB ISPRA ambiente: <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/certificazioni/emas>
- SITO WEB PIATTAFORMA ORBIS: <https://login.bvdinfo.com/R0/Orbis>
- SITO WEB ACCREDITA: <https://www.accredia.it/>

I nuovi Standard GRI nel settore agroalimentare. Una content analysis sulla rendicontazione di una società multinazionale italiana

Angela Tarabella
Università di Pisa
Serena Sebastiani
Università di Pisa

ABSTRACT

Scopo – Il presente lavoro si propone di indagare l'attività di reporting della sostenibilità di una società italiana, leader del settore agroalimentare, svolta in conformità alla versione più recente degli standard definiti dal Global Reporting Initiative (GRI), al fine di individuare le principali novità informative apportate dalle più recenti modifiche normative al riguardo.

Metodologia – Questo studio impiega una *content analysis* dei rapporti di sostenibilità pubblicati nel periodo 2021 e 2022. Dopo aver delineato gli aspetti caratterizzanti l'azienda viene definito uno schema analitico per codificare le informazioni di maggiore rilevanza in ordine di sostenibilità.

Risultati – Si rileva una tendenziale corrispondenza del reporting di sostenibilità ai nuovi Standard GRI. Tra le varie informazioni contenute nei report si osservano rilevanti integrazioni riguardanti il processo di analisi dei temi materiali.

Originalità/valore – Lo studio fornisce un quadro delle attuali pratiche di rendicontazione della sostenibilità di una grande impresa del settore agroalimentare valido per una prima valutazione degli effetti della revisione degli standard di rendicontazione non finanziaria e utile alle aziende per coordinare il processo di rendicontazione della sostenibilità.

Limiti della ricerca: Data la recente emanazione della direttiva sulla sostenibilità non è possibile effettuare un'analisi approfondita per l'esiguo numero di casi applicativi del settore.

PAROLE CHIAVE: responsabilità sociale d'impresa, rendicontazione non finanziaria, indicatori di sostenibilità, settore agroalimentare, Agenda 2030, Global Reporting Initiative.

1 Introduzione

La definizione di sostenibilità e la traduzione dei suoi principi ge-

nerali in compiti pratici e operativi sono entrati recentemente in primo piano nella ricerca scientifica e nelle agende politiche di tutto il mondo. La comprensione e la valutazione delle performance ambientali, sociali ed economiche dei vari sistemi di business è probabilmente la vera sfida, e la progettazione di alternative più sostenibili è stata riconosciuta come necessaria per una corretta gestione del territorio.

Il settore agroalimentare occupa una posizione centrale nel panorama globale della sostenibilità, con profonde implicazioni economiche, sociali e ambientali. L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile adottata nel 2015 dalle Nazioni Unite è un programma d'azione per le persone, il Pianeta e la prosperità. Per perseguire lo sviluppo sostenibile si deve porre attenzione alla salvaguardia dell'ambiente, rispettandone le funzioni di fruitore di risorse. L'Agenda è costituita da 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile – *Sustainable Development Goals*, SDGs – a cui sono stati associati 169 target, da raggiungere entro il 2030 integrando la sfera ambientale, economica, e sociale. Il programma, che rappresenta una base comune orientata al perseguimento dello sviluppo sostenibile, riconosce l'importanza dell'agricoltura e della nutrizione per lo sviluppo. In particolare, gli Obiettivi 2 e 2.4 si riferiscono specificatamente a quelli legati al sistema alimentare, alla necessità di garantire sistemi di produzione alimentari sostenibili e attuare pratiche agricole resilienti. Il raggiungimento di questi obiettivi non è solo una questione di primaria importanza, ma anche un compito complesso, poiché il settore agroalimentare si confronta con numerose difficoltà. In questo contesto, la valutazione delle performance ambientali, sociali ed economiche del sistema agroalimentare e la progettazione di alternative gestionali più orientate alla sostenibilità rappresentano la sfida dei prossimi anni (Notaricola *et al.*, 2017; Peano *et al.*, 2015; Vrontis *et al.*, 2021).

Le politiche europee

A livello sovranazionale, l'Unione Europea (UE) ha promosso numerose iniziative politiche e proposte normative per delineare un quadro istituzionale in linea con gli SDGs. Con l'Accordo di Parigi del 2016 viene adottato un obiettivo comune, con orizzonte temporale a lungo termine, volto a mantenere l'aumento della temperatura media globale al di sotto di 2°C in più rispetto ai livelli preindustriali, e di proseguire gli sforzi per limitarlo a 1,5°C. Sottoscrivendo l'Accordo di Parigi, l'UE si è impegnata a raggiungere tre obiettivi entro il 2030: ridurre di almeno il 40% le emissioni di gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990; portare la quota di consumo energetico soddisfatto da fonti rinnovabili almeno al 32%; migliorare l'efficienza energetica di almeno il 32,5%.

La Commissione europea, nel 2018, ha adottato il Piano d'azione sul finanziamento della crescita sostenibile, ponendo l'attenzione sui rischi

legati ai cambiamenti climatici, alla biodiversità e sottolineando l'aumento delle disuguaglianze sociali, che rappresentano potenziali rischi per una crescita sostenibile a lungo termine. Nello specifico, il Piano d'azione presenta tre obiettivi a cui sono state affiancate dieci azioni specifiche: riorientare i flussi di capitali verso investimenti sostenibili, al fine di realizzare una crescita sostenibile e inclusiva; gestire i rischi finanziari derivati dai cambiamenti climatici, l'esaurimento delle risorse, il degrado ambientale e le questioni sociali; promuovere la trasparenza e la visione a lungo termine nelle attività economico-finanziarie.

A dicembre 2019, l'Unione Europea ha annunciato l'*EU Green Deal*, una strategia che ha come obiettivo finale il raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050, e come obiettivo intermedio la riduzione di almeno il 55% delle emissioni di CO₂ entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990. In particolare, il principale obiettivo è quello di limitare l'aumento del riscaldamento globale per mantenerlo entro i limiti stabiliti dall'Accordo di Parigi del 2015.

Come conseguenza del *Green Deal*, l'Unione Europea ha avviato una serie di iniziative regolamentari, tra cui l'*Action Plan* della finanza sostenibile, la Tassonomia verde (*Green Taxonomy*) e la *Sustainable Finance Disclosure Regulation* (Regolamento n. 2088/2019). Inoltre, il disegno normativo ha strutturato la revisione della Direttiva 2014/95/UE per quanto riguarda la divulgazione, da parte delle imprese di informazioni comparabili e affidabili sulla sostenibilità, che si è tradotta nella *Corporate Sustainability Reporting Directive* (CSRD) – Direttiva UE 2022/2464.

La rendicontazione di sostenibilità: dalla Direttiva 2014/95/UE alla Direttiva 2022/2464/UE

L'Unione Europea ha progressivamente maturato l'esigenza di migliorare la trasparenza delle informazioni sociale e ambientali fornite dalle imprese di tutti i settori e in merito alle politiche di responsabilità sociale promosse dalle imprese in tutti gli Stati membri.

La Direttiva 2014/95/UE relativa alla comunicazione di informazioni di carattere non finanziario, comunemente nota come 'Non-Financial Reporting Directive (NFRD)', pubblicata il 15 novembre 2014, ha promosso la rendicontazione delle politiche di responsabilità sociale. La NFRD ha disciplinato per la prima volta, seppur con un grado di discrezionalità elevato e prevedendo un'informativa minima, le modalità di rendicontazione delle informazioni non finanziarie con requisiti obbligatori. A livello italiano, il recepimento della Direttiva è avvenuto con il Decreto Legislativo 254/2016, entrato in vigore il 1° gennaio 2017, le imprese italiane hanno iniziato a presentare la relazione conforme a tale decreto per la prima volta nel 2018, per quanto concerneva l'esercizio finanziario 2017.

Secondo la NFRD, i soggetti obbligati a redigere una Dichiarazione di carattere non finanziario, più comunemente nota come DNF, sono gli enti di interesse pubblico con più di 500 dipendenti e che abbiano superato determinati limiti dimensionali (20 milioni di euro totali per lo stato patrimoniale, 40 milioni di euro totali per i ricavi netti delle vendite e dalle prestazioni). In merito al contenuto delle informazioni non finanziarie, la DNF ha disposto che le imprese comunichino informazioni nei seguenti ambiti: modello aziendale, politiche, risultati delle politiche, rischi e gestione dei rischi, nonché indicatori fondamentali di prestazione pertinenti per l'attività dell'impresa. Nella NFRD i temi sono stati individuati in modo generico riportando la formula 'contenente almeno' al fine di creare un quadro sufficientemente esaustivo sull'andamento, i risultati e l'impatto dell'attività d'impresa in relazione alle tematiche di sostenibilità. La Direttiva ha infatti lasciato un ampio grado di flessibilità agli Stati membri nel declinare all'interno del proprio ordinamento la disposizione europea, così da meglio adattarla al contesto nazionale. L'attuazione volontaria a discrezione degli Stati membri riguarda la definizione degli enti di interesse pubblico; l'indicazione se presentare queste informazioni nella relazione annuale sulla gestione o separatamente nel formato della dichiarazione non finanziaria; l'indicazione dello *standard framework* a cui fare affidamento, l'*assurance* indipendente; eventuali sanzioni applicate alle società che non rendicontino adeguatamente le informazioni non finanziarie.

Il 16 dicembre 2022 è stata pubblicata nella Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea, a modifica degli obblighi di rendicontazione della NFRD, la nuova Direttiva UE 2022/2464 sulla rendicontazione societaria di sostenibilità (*Corporate Sustainability Reporting Directive – CSRD*), avente lo scopo di guidare le organizzazioni verso un'economia maggiormente sostenibile e che dovrà essere recepita dagli Stati Membri entro il 2024. Con la nuova normativa non si parla più di rendicontazione 'non-finanziaria', bensì di rendicontazione sulla sostenibilità, riconoscendo l'importanza delle informazioni di sostenibilità al pari delle informazioni finanziarie.

La CSRD introduce importanti novità riferiti a quattro principali aree di intervento: il perimetro di applicazione, le informazioni che dovranno essere pubblicate dalle imprese, la collocazione dell'informativa di sostenibilità e l'obbligo di certificazione. In riferimento al perimetro di applicazione, la CSRD estende l'obbligo dell'informativa ad altre imprese, comprendendo tutte quelle di grandi dimensioni e quelle quotate (ad eccezione delle microimprese quotate in borsa). Nello specifico, le società soggette alla nuova Direttiva sono le imprese già soggette alla NFRD, le imprese di grandi dimensioni che superano almeno due dei seguenti criteri: numero medio di dipendenti occupati durante l'esercizio pari a 250, 40

milioni di euro di ricavi netti delle vendite e delle prestazioni, 20 milioni di euro di totale attivo di Stato Patrimoniale. Infine, le piccole e medie imprese (PMI) quotate ad eccezione delle microimprese quotate.

In merito all'informativa di sostenibilità da pubblicare, la CSRD impone un contenuto più dettagliato. Innanzitutto, si introduce il principio di doppia materialità che le imprese devono adottare nel processo di gestione e rendicontazione. In dettaglio, le imprese dovranno rendicontare sia l'impatto dei temi di sostenibilità sui risultati e sul posizionamento dell'impresa, sia l'impatto dell'impresa sulle principali questioni di sostenibilità. Inoltre, si specificano contenuti di rendicontazione più dettagliati in merito alla strategia, agli obiettivi, al ruolo della dirigenza e sulle principali ripercussioni negative legate all'impresa e alla sua catena del valore, le attività immateriali e le modalità con cui le imprese hanno individuato le informazioni di sostenibilità che comunicano. Infine, l'informativa deve essere presentata seguendo uno standard unico e obbligatorio a livello europeo, quello degli *European Sustainability Reporting Standards* (ESRS), sviluppato dall'EFRAG (*European Financial Reporting Advisory Group*) e approvato dalla Commissione europea. In dettaglio, a fine novembre 2022, l'EFRAG ha sottoposto alla Commissione europea il primo set di ESRS composto da dodici documenti, due '*Cross-Cutting Standard*' in merito all'informativa generale e dieci '*Topical Standard*' che trattano i temi ESG (ambientali, sociali e di *governance*). Gli standard saranno pubblicati dalla Commissione europea con appositi regolamenti, chiamati atti delegati. Il primo set di standard di sostenibilità europei è stato approvato ed emanato lo scorso 31 luglio 2023 e il secondo set di standard, che comprende quelli settoriali e quelli per le PMI verrà emanato entro il 30/06/2024.

Per quanto riguarda la collocazione dell'informativa di sostenibilità, questa dovrà essere inclusa nella Relazione sulla Gestione pubblicata a corredo del bilancio di esercizio e non più come fascicolo a parte. In ultimo si introduce l'obbligo di certificazione (*assurance*) delle informazioni sulla sostenibilità comunicate, affinché tali informazioni siano attendibili.

Il Sustainability Reporting nelle linee guida del Global Reporting Initiative

L'introduzione dei regolamenti normativi sopra descritti, in particolare la Direttiva Europea 2014/95/EU, ha avuto un ruolo fondamentale nel promuovere l'adozione della pratica di rendicontazione non finanziaria, rendendola un obbligo per alcune società europee (Caputo *et al.*, 2021; De Luca, 2020; Commissione europea, 2014) e nel guidare la rendicontazione delle informazioni sulla sostenibilità.

A livello internazionale, sono state promosse numerose iniziative per lo sviluppo di standard e metodologie di rendicontazione. Tra i più noti

si menzionano il Global Reporting Initiative (GRI) Sustainability Standards, la cui ultima revisione è del 2021 con entrata in vigore a partire dal 2023; l'AA1000 Accountability Principles del 1999 e rivisto nel 2018; l'International <IR> Framework promosso dall'International Integrated Reporting Council (IIRC) del 2011, versione aggiornata nel 2021; il WICI Intangibles Reporting Framework del 2016; le Raccomandazioni Task Force on Climate-Related Financial Disclosure (TCFD) sulla disclosure di informazioni finanziarie legate al cambiamento climatico; lo standard del Sustainability Accounting Standards Board (SASB) e gli SDG Impact Standards for Enterprise pubblicati nel 2021. Tra i più recenti e ancora in fase di elaborazione ci sono gli European Sustainability Reporting Standards (ESRS) predisposti dall'EFRAG.

Tra queste, quella messa in atto dal Global Reporting Initiative (GRI), rappresenta un punto di svolta sul tema della rendicontazione non finanziaria (Hsu *et al.* 2013). Gli Standard GRI, sono i più riconosciuti e utilizzati a livello internazionale (Gallego-Álvarez *et al.*, 2019) e offrono un insieme di linee guida che consentono alle organizzazioni di rendicontare i propri impatti economici, ambientali e sociali, e di esprimere i contributi dell'azienda al raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, promuovendo la trasparenza e la responsabilità (Eccles *et al.* 2014).

Le Linee Guida GRI (G1) del 2000 costituiscono il primo framework in ordine cronologico di principi per il reporting di sostenibilità. Con la crescita della domanda di rendicontazione sui temi della sostenibilità e l'adozione da parte di una platea sempre più ampia di organizzazioni, le linee guida sono state successivamente ampliate e migliorate, con la pubblicazione delle G2 (2002), G3 (2006) e G4 (2013). Nel 2016, cambia la denominazione dei principi che non sono più linee guida ma diventano standard globali per la rendicontazione della sostenibilità, con un approccio modulare che rende i GRI Standard idonei ad essere utilizzati come serie di riferimento per redigere un bilancio di sostenibilità basato sui temi più significativi per le organizzazioni. Questo nuovo approccio consente un aggiornamento più rapido dei contenuti dei singoli standard, in considerazione dell'evoluzione delle tematiche rilevanti (ad esempio, nel 2019 è stato introdotto il GRI 207 sulle imposte e tasse, e nel 2020 il GRI 306 sui rifiuti).

Nella versione del 2016, per favorire la più ampia diffusione dei principi, sono stati previsti diversi livelli di adesione: *comprehensive option*, *core option*, *reference option*. Nello specifico, si poteva redigere il report in conformità con (*in accordance with*) i principi GRI, rendicontando su tutte le informative e indicatori previsti dagli standard specifici per ciascun tema individuato dall'organizzazione come rilevante (opzione *comprehensive*), oppure rendicontare su almeno un indicatore per ciascun tema rilevante (opzione *core*). In alternativa l'impresa poteva rendicontare alcuni aspetti scelti

a sua discrezione, con l'uso selettivo di alcuni standard (opzione *GRI-referenced*).

L'ultima revisione degli Standard GRI è stata pubblicata nell'ottobre 2021, dopo una fase di consultazione globale che ha coinvolto imprese, istituzioni, comunità scientifica, enti no-profit e cittadini. Sono entrati in vigore il 1° gennaio 2023 ed è stata consentita l'adozione anticipata. L'aggiornamento più rilevante riguarda i tre *Universal Standards*: GRI 1 Foundation 2021 (Principi di rendicontazione), punto di partenza per utilizzare i GRI Standards, che sostituisce il GRI 101; GRI 2 *General Disclosures* 2021 (Informativa generale), che illustra come riportare le informazioni di contesto dell'organizzazione, in sostituzione del GRI 102; GRI 3 *Material Topics* 2021, (Temi materiali, in precedenza GRI 103) che guida le imprese nell'identificazione e gestione dei temi materiali, ovvero dei temi significativi per l'organizzazione.

Le novità principali della nuova versione riguardano:

- la rilevanza data al rispetto dei diritti umani che ora interessa in modo trasversale tutti i principi GRI;
- l'eliminazione dell'opzione semplificata *core*. Pertanto, le modalità di rendicontazione possibili sono solo due: *'in accordance with'* quando un'organizzazione è in grado di soddisfare tutti i requisiti GRI, offrendo un quadro esaustivo sui principali impatti a livello economico, ambientale e sociale, e di spiegare come gestisce tali impatti; *'with reference to'* quando un'organizzazione non è in grado di soddisfare i requisiti GRI o vuole rendicontare solo specifiche informazioni;
- un nuovo approccio all'analisi di materialità che pone quale unica dimensione rilevante l'impatto delle organizzazioni sull'economia, l'ambiente e le persone. L'influenza sulle valutazioni e sulle decisioni degli stakeholder ora assume rilievo nell'analisi svolta dall'organizzazione e non è più un fattore autonomo che determina se un tema è materiale, come considerato nella versione precedente del 2016;
- l'introduzione dei Sector Standard che indicano i temi probabilmente materiali e contengono alcune specifiche informative per le organizzazioni che operano in un determinato settore.

Il report di sostenibilità nel settore agroalimentare

Anche il settore agroalimentare è tenuto a adeguarsi alle nuove politiche di reporting della sostenibilità in considerazione della sua centralità per il nostro Paese e della necessità di elaborare adeguati strumenti di misurazione delle informative non finanziarie. La crescente consapevolezza politica e sociale dell'importanza del settore agrifood per la salute delle per-

sone e dell'ambiente (Pretty, 2008; Tilman e Clark, 2014) costituisce un elemento chiave. Inoltre, si osserva una maggiore attenzione da parte degli investitori e dei consumatori verso le performance di sostenibilità delle aziende agroalimentari (Öberseder *et al.* 2013; Hawn e Iannou, 2016). Ciò ha spinto le imprese a mettere in primo piano la definizione, la comunicazione e la valorizzazione delle loro performance ambientali e sociali (Lozano, 2011; Hahn e Kühnen, 2013).

Tuttavia, alcuni studi accademici hanno rilevato lacune nella comprensione dell'adozione degli standard per la rendicontazione non finanziaria in riferimento al settore agroalimentare. Nello specifico lo studio condotto da Stewart e Niero (2018) ha evidenziato come l'approccio alla *disclosure* delle aziende alimentari presenti difficoltà in termini di profondità e standardizzazione delle informazioni. Altre ricerche precedenti hanno sollevato critiche riguardo all'efficacia di applicare linee guida standardizzate di divulgazione, come quelle proposte dal Global Reporting Initiative. Cuganesan *et al.* (2010), ad esempio, hanno evidenziato come quest'ultime spesso non riescano a catturare in modo completo l'attività delle aziende del settore alimentare. Pertanto, come sottolineato da Stranieri *et al.* (2019), la letteratura riguardante la rendicontazione non finanziaria nel settore agrifood è ancora scarsa ed è necessario uno studio più approfondito.

Alcuni studiosi hanno espresso preoccupazione per il reporting di sostenibilità anche riguardo alla sua credibilità per la mancanza di rilevanza, coerenza e comparabilità. Più in dettaglio, Mitchell *et al.* (2015) riconoscono che l'attuale prassi contabile limita la rendicontazione della redistribuzione del valore per gli stakeholder e non comprende una corretta divulgazione. Anche l'analisi relativa alla divulgazione degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile nel settore agroalimentare ha rivelato alcune difficoltà. In particolare, l'interesse delle aziende agrifood nel contribuire al perseguimento degli obiettivi dell'Agenda 2030 è stato spesso descritto come una reazione alle crescenti pressioni da parte degli stakeholder (Naidoo e Gasparatos, 2018). Precedenti studi si sono concentrati principalmente su specifiche rilevazioni legate agli SDGs, come quelle relative all'Obiettivo 12, Consumo e Produzione Responsabili, e all'Obiettivo 1, Nessuna Povertà (Beacom *et al.*, 2020; Sala e Castellani, 2019). Inoltre, come indicato da De Luca *et al.* (2020), l'analisi della divulgazione delle informazioni non finanziarie rappresenta un campo relativamente nuovo, che richiede ulteriori approfondimenti. In quest'ottica, per ampliare la comprensione della diffusione degli SDGs tra le aziende agroalimentari, è necessario un approccio di ricerca più completo.

Sulla base delle argomentazioni esposte e per ridurre il divario presente nella letteratura di cui sopra, l'obiettivo del presente studio è quello di contribuire al dibattito sull'adeguatezza della rendicontazione non finan-

ziaria attraverso un'analisi delle novità introdotte con la recente versione degli Standard GRI e ampliare la comprensione degli aspetti considerati rilevanti dalle imprese agroalimentari nel processo di rendicontazione della sostenibilità.

2 Metodologia

Il presente studio riguarda una società italiana leader del settore agroalimentare che rendiconta le informazioni non finanziarie su base volontaria e *in accordance with* gli Standard GRI. L'azienda, quindi, riferisce su tutti i temi materiali rendicontando i relativi impatti e fa parte di quel piccolo gruppo di imprese che ha anticipato l'entrata in vigore dei nuovi indicatori.

Per indagare le principali novità introdotte a seguito dell'applicazione della revisione del 2021, è stata svolta un'analisi dettagliata di due bilanci di sostenibilità. Le fonti di informazione sono state le dichiarazioni non finanziarie del 2021 e 2022 e il sito web della società riportante notizie sui temi della sostenibilità. In particolare, l'analisi dei dati si è concentrata sul contenuto dei bilanci di sostenibilità in termini di struttura delle informazioni e rispondenza al sistema modulare degli Standard GRI adottati. La Content Analysis è stata scelta come metodo di indagine per analizzare la documentazione non finanziaria prodotta negli anni oggetto di ricerca. L'analisi del contenuto è un metodo di ricerca utilizzato frequentemente per valutare le diverse pratiche di reporting (Breitbarth *et al.*, 2010, Haji e Anifowose, 2017, Manes-Rossi *et al.*, 2018).

L'analisi inizia con l'estrapolazione delle informazioni caratterizzanti l'azienda: nome del settore in cui opera, attività economica prevalentemente esercitata, numero di dipendenti, fatturato, regime volontario o obbligatorio di rendicontazione non finanziaria, nome assegnato alla dichiarazione sulla sostenibilità, opzione GRI scelta, integrazione con altri framework, formalizzazione di un Piano di Sostenibilità e certificazioni ambientali.

Al fine della ricerca è stato definito uno schema analitico con lo scopo di codificare le informazioni significative nei rapporti e approfondirli attraverso l'analisi del contenuto. Al fine di consentire una migliore comprensione delle modifiche/integrazioni apportate, lo schema di riferimento, considera i requisiti minimi da rispettare nel rendicontare in conformità agli Standard GRI, raggruppati secondo il sistema modulare adoperato dal framework di riferimento, come rappresentato nella Tabella 1 sottostante.

Una volta definito il modello analitico, le informazioni dei report sono state estratte e codificate manualmente per valutare la loro validità e i risultati sono stati inseriti in un foglio di calcolo Excel.

Requisiti di rendicontazione in conformità agli Standard GRI		Sistema modulare degli Standard GRI (versione del 2016 e del 2021)
A	Principi di rendicontazione	Modulo 1: Principi di rendicontazione
B	Dettagli organizzativi	Modulo 2: Informativa generale sull'organizzazione
C	Entità incluse nella rendicontazione di sostenibilità	
D	Periodo di rendicontazione, frequenza e contatti	
E	Revisione delle informazioni	
F	Assurance esterna	
G	Attività e lavoratori	
H	Governance	
I	Strategia, politiche e prassi di sviluppo sostenibile	
J	Coinvolgimento degli stakeholder	Modulo 2: Informativa generale e Modulo 3: Analisi dei temi materiali
K	Individuazione e valutazione degli impatti	Modulo 3: Analisi dei temi materiali
L	Processo di determinazione dei temi materiali	
M	Valutazione dei temi materiali descritti con gli Standard di Settore e Specifici	
N	Elenco dei temi materiali	

Tabella 1 – Schema analitico

Fonte: Elaborazione propria basata sugli Standard Universali GRI

3 Discussione dei risultati

L'azienda presa in esame ha mantenuto il medesimo format per entrambe le dichiarazioni di carattere non finanziario. Un fattore che, unitamente alla modularità degli Standard GRI implementati, ha agevolato l'individuazione e il confronto delle informazioni.

Innanzitutto, si osserva che in entrambi i Rapporti di Sostenibilità sono presenti le informative rispetto ai requisiti considerati per lo svolgimento dell'analisi. Nello specifico, in riferimento al Modulo 1, l'azienda indica il rispetto dei principi di rendicontazione in conformità agli Standard GRI. In entrambi i documenti, infatti, è presente un'appendice che elenca e descrive i principi rispettati per la definizione dei contenuti riportati. Relativamente ai requisiti del Modulo 2 (informative generali e di contesto) sono presenti le informazioni sulla struttura organizzativa della società, sul processo di reporting, sull'attività svolta, sulla catena del valore e sui lavoratori, sulla governance, sulla strategia, sulle politiche e prassi aziendali e sulle modalità di coinvolgimento degli stakeholder. Nel Rapporto di Sostenibilità del 2022, si osserva che l'azienda presa in esame ha aggiornato e approfondito le informazioni riguardanti la catena del valore e quelle riferite al contesto sociale, con un focus sui dipendenti, al fine (dichiarato) di fornire un contesto più adeguato a comprenderne gli impatti.

Una novità importante, rispetto al Rapporto di Sostenibilità 2021, si evidenzia nell'analisi di materialità, ovvero sui requisiti di rendicontazione riferiti al Modulo 3. Con i nuovi standard, in particolare lo Standard GRI 3 Material Topics, l'azienda ha rivisto il processo di identificazione dei temi materiali di sostenibilità che si basa sul concetto di impatto effettivo o potenziale. Nello specifico, partendo dai temi materiali del Rapporto di Sostenibilità 2021 è stata svolta un'analisi di *benchmark* e di contesto al fine di verificare la validità degli aspetti di sostenibilità già considerati e di intercettare nuove possibili tendenze e i relativi impatti. Tale attività, che ha considerato principalmente il nuovo Standard GRI 13: Agriculture and Fishing Sector 2022, ha consentito di identificare un nuovo tema materiale.

Requisiti di rendicontazione in conformità agli Standard GRI		Sistema modulare degli Standard GRI (versione del 2016 e del 2021)	Rapporto di sostenibilità 2021 – Standard GRI del 2016	Rapporto di sostenibilità 2022 – Standard GRI del 2021
A	Principi di rendicontazione	Modulo 1: Principi di rendicontazione	GRI 101	GRI 1
B	Dettagli organizzativi	Modulo 2: Informativa generale sull'organizzazione	GRI 102	GRI 2
C	Entità incluse nella rendicontazione di sostenibilità		GRI 102	GRI 2
D	Periodo di rendicontazione, frequenza e contatti		GRI 102	GRI 2
E	Revisione delle informazioni		GRI 102	GRI 2
F	Assurance esterna		GRI 102	GRI 2
G	Attività e lavoratori		GRI 102	GRI 2
H	Governance		GRI 102, GRI 103	GRI 2, GRI 3
I	Strategia, politiche e prassi di sviluppo sostenibile		GRI 102, GRI 103, GRI 205	GRI 2, GRI 3
J	Coinvolgimento degli stakeholder	Modulo 2: Informativa generale e Modulo 3: Analisi dei temi materiali	GRI 102, GRI 207	GRI 2, GRI 3

K	Individuazione e valutazione degli impatti	Modulo 3: Analisi dei temi materiali	GRI 102, GRI 103, GRI 203, GRI 416	GRI 2, GRI 3
L	Processo di determinazione dei temi materiali		GRI 103	GRI 3, GRI 13 Agriculture, Aquaculture and Fishing Sector (2022)
M	Valutazione dei temi materiali descritti con gli Standard di Settore e Specifici		GRI 103	GRI 3, GRI 13
N	Elenco dei temi materiali		GRI 102, GRI 103	GRI 2, GRI 3

Tabella 2 – Individuazione e confronto delle informative in base agli Standard di riferimento

Fonte: Elaborazione propria basata sugli Standard GRI e sul confronto delle informative presenti nei report

4 Conclusioni

Esaminando le informative di sostenibilità specifiche del settore agroalimentare, che l'azienda presa in esame considera rilevanti, si osserva che particolare attenzione è stata posta al processo di determinazione dei temi materiali. Ciò suggerisce che l'applicazione dei nuovi Standard del Global Reporting Initiative ha permesso all'azienda di migliorare la qualità e la completezza delle informazioni, tanto da individuare un nuovo tema materiale.

I risultati dell'analisi condotta si allineano a quella parte della letteratura esistente che sostiene l'efficacia derivante dalla rendicontazione della sostenibilità. In particolare, la divulgazione delle informazioni relative agli aspetti economici, sociali e ambientali, offre vantaggi significativi alle aziende in termini di coinvolgimento degli stakeholder e reputazione (Stolowy e Paugam, 2018), arricchendo le informazioni contabili e di rendicontazione aziendale (Dony *et al.*, 2019). Le aziende che dimostrano solide performance in termini di sostenibilità incontrano meno ostacoli nel reperire finanziamenti dal mercato dei capitali (Cheng *et al.*, 2014) e incrementano il valore riconosciuto dagli stakeholder interni ed esterni (Aguinis, *et al.* 2012; Giacosa *et al.*, 2017; Vrontis *et al.*, 2021). Inoltre, rispondendo

alle crescenti richieste di trasparenza da parte dei clienti (Machado *et al.*, 2021), le imprese possono migliorare la propria reputazione, ridurre il rischio operativo e stabilire relazioni più solide con i dipendenti e gli stakeholder (Buallay *et al.*, 2020; Carroll e Shabana, 2010; Kurucz *et al.*, 2008).

Implicazioni

Lo studio ha svolto un'analisi sulla rendicontazione dell'informativa di sostenibilità, delineando la sua evoluzione concettuale e regolamentaria, e fornendo un inquadramento in merito agli esistenti standard di rendicontazione. L'analisi degli indicatori ha permesso di delineare possibili azioni che società simili, potrebbero intraprendere per avviare o migliorare la comunicazione delle performance in relazione agli obiettivi economici, sociali e ambientali.

Limitazioni

La recente emanazione della Direttiva sulla sostenibilità non ha consentito un'analisi approfondita del settore a causa del numero limitato di casi applicativi. Studi futuri potrebbero prendere in esame altri casi aziendali e svolgere un'analisi più approfondita.

References

- AGUINIS, H., GLAVAS, A. (2012). What We Know and Don't Know About Corporate Social Responsibility: A Review and Research Agenda. *Journal of Management*, 38(4), 932-968.
- AMINI, A., BIENSTOCK, C.C. (2014). Corporate sustainability: an integrative definition and framework to evaluate corporate practice and guide academic research. *Journal of Cleaner Production*, 76, 12-19.
- AVERY, G.C., BERGSTEINER, H. (2011). Sustainable leadership practices for enhancing business resilience and performance. *Emerald Insight*, 39(3), 5-15.
- BEACOM, E., FUREY, S., HOLLYWOOD, L.E., HUMPHREYS, P. (2020). Stakeholder-informed considerations for a food poverty definition. *British Food Journal*, 123(2), 441-454.
- BANERJEE, S.B., BONNEFOUS, A. (2011). Stakeholder management and sustainability strategies in the French nuclear industry. *Business Strategy and the Environment*, 20(2), 124-148.
- BELLANTUONO, N., PONTRANDOLFO, P., SCOZZI, B. (2018). Guiding materiality analysis for sustainability reporting: the case of agri-food sector. *International Journal of Technology Policy and Management*, 18(4), 336-359.
- BREITBARTH, T., HARRIS, P., INSCH, A. (2010). Pictures at an exhibition revisited: reflections on a typology of images used in the construction of corporate social responsibility and sustainability in non-financial corporate reporting. *Journal of Public Affairs*, 10, 238-257.
- BULLAY, A., KUKREJA, G., ALDHAEN, E., AL MUBARAK, HAMDAN, A.M. (2020). Corporate social responsibility disclosure and firms' performance in Mediterranean countries: a stakeholders' perspective. *EuroMed Journal of Business*, 25(3), 361-375.
- CAPUTO, F., LIGORIO, L., PIZZI, S. (2021). The contribution of higher education institution to the SDGs—An evaluation of sustainability reporting practices. *Administrative Sciences*, 11, 97.
- CARAIANI, C., LUNGU, I.C., BRATU, A., DASCĂLU, C. (2018). Exploring the perspectives of integrated reporting for future research opportunities. *Accounting and Management Information Systems*, 17(4), 532-565.
- CARINI, C., ROCCA, L., VENEZIANI, M., TEODORI, C. (2018). Ex-Ante Impact Assessment of Sustainability Information – The Directive 2014/95. *Sustainability*, 10(2), 1-24.
- CARROLL, A.B. (1979). A Three-Dimensional Conceptual Model of Social Performance. *Academy of Management Review*, 4(4), 497-505.

- CARROLL, A.B., SHABANA, K.M. (2010). The Business Case for Corporate Social Responsibility. *International Journal of Management Reviews*, 12, 85-105.
- CHENG, I.H., RAINA, S., XIONG, W. (2014). Wall street and the housing bubble. *American Economic Review*, 104(9), 2797-2829.
- CLARK, J.M. (1916). The changing basis of economic responsibility. *The Journal of Political Economy*, 24(3), 209-229.
- COMMISSIONE EUROPEA (2018). *Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio europeo, al Consiglio, alla Banca centrale europea, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni. Piano d'azione: finanziare la crescita sostenibile.*
- COMMISSIONE EUROPEA (2019). *Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni. Il Green Deal europeo.*
- COMMISSIONE EUROPEA (2020). *Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni. Una strategia Farm to Fork, per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente.*
- CORONELLA, S., CAPUTO F., LEOPIZZI, R., VENTURELLI, A. (2018). Corporate social responsibility in Economia Aziendale scholars' theories: a taxonomic perspective. *Meditary Accountancy Research*, 26(4), 640-656.
- CORONELLA, S., MOI, C., LEOPIZZI, R., VENTURELLI, A., CAPUTO, F. (2016). Matching Economia Aziendale and Corporate Social Responsibility: roots and frontiers. *Rivista Italiana di Ragioneria e di Economia Aziendale*.
- CUGANESAN, S., GUTHRIE, J., WARD., L. (2010). Examining CSR disclosure strategies within the Australian food and beverage industry. *Accounting Forum*, 34, 169-183.
- DAHLSTRUD, A. (2008). How Corporate Social Responsibility is Defined: an Analysis of 37 Definitions. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 15, 1-13.
- DE LUCA, F., CARDONI, A., HO-TAN-PHAT, P., KISELEVA, E. (2020). Does Structural Capital Affect SDGs Risk-Related Disclosure Quality? An Empirical Investigation of Italian Large Listed Companies. *Sustainability*, 12(5), 1776.
- DONALDSON, T. (1996). Values in Tension: Ethics Away from Home. *Harvard Business Review*, 74(5), 48-58.
- DONALDSON, T., PRESTON, L.E. (1995). The Stakeholder Theory of the Corporation: Concepts, Evidence, and Implications. *The Academy of Management Review*, 20(1), 65-91.

- DONI, F., BIANCHI MARTINI, S., CORVINO, A., MAZZONI, M. (2019). Voluntary versus mandatory non-financial disclosure. *Meditari Accountancy Research*, 28(5), 781-802.
- DYLLICK, T., HOCKERTS, K. (2002). Beyond the Business Case for Corporate Sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 11, 130-141.
- ECCLES, R.G., IOANNOU, I., SERAFEIM, G. (2014). The Impact of Corporate Sustainability on Organizational Process and Performance. *Management Science*, 60(11), 2835-2857.
- ELKINGTON, J. (1998). *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. New Society Publishers, Gabriola Island, Canada.
- EUROPEAN FINANCIAL REPORTING ADVISORY GROUP (EFRAG) (2021). *Final report: Proposal for a relevant and dynamic EU sustainability reporting standard-setting*.
- FRIEDMAN, M. (1970). The Social Responsibility of Business Is to Increase Its Profits. *The New York Times Magazine*, 13 September 1970.
- GALLEGO-ÁLVAREZ, I., LOZANO, M.B., RODRÍGUEZ-ROSA, M. (2019). Analysis of Social Sustainability Information in a Global Context According to the New Global Reporting Initiative 400 Social Standards. *Sustainability*, 11(24), 7073.
- GAZZETTA UFFICIALE DELLA REPUBBLICA ITALIANA (2016). *Decreto Legislativo n. 254*.
- GAZZETTA UFFICIALE DELL'UNIONE EUROPEA (2016). *Paris Agreement*.
- GAZZETTA UFFICIALE DELL'UNIONE EUROPEA (2014). *Directive 2014/95/EU of the European Parliament and of the Council*.
- GAZZETTA UFFICIALE DELL'UNIONE EUROPEA (2022). *Directive 2022/2464/EU of the European Parliament and of the Council*.
- GIACOSA, E., FERRARIS, A., MONGE, F. (2017). How to strengthen the business model of an Italian family food business. *British Food Journal*, 119(11), 2309-2324.
- GLOBAL COMPACT DELLE NAZIONI UNITE (2020). *I dieci principi del Global Compact delle Nazioni Unite*.
- GLOBAL REPORTING INITIATIVE (2021). *The global standards for sustainability impact*.
- GRAY, R. (2001). Thirty years of social accounting, reporting and accounting: what (if anything) have we learnt? *Business Ethics A European Review*, 10(1), 9-15.
- HAHN, R., KÜHNEN, M. (2013). Determinants of sustainability reporting: a review of results, trends, theory, and opportunities in an expanding field of research. *Journal of Cleaner Production*, 59, 5-21.

- HAHN, T., PREUSS, L., PINKSE, J., FIGGE, F. (2014). Cognitive Frames in Corporate Sustainability: Managerial Sensemaking with Paradoxical and Business Case Frames. *Academy of Management Review*, 39(4), 463-487.
- HAJI, A.A., ANIFOWOSE, M. (2017). Initial trends in corporate disclosures following the introduction of integrated reporting practice in South Africa. *Journal of Intellectual Capital*, 18(2), 373-399.
- HAWN, O., IOANNOU, I. (2017). Mind the gap: The interplay between external and internal actions in the case of corporate social responsibility. *Strategic Management Journal*, 37(13), 2569-2588.
- HSU, C.W., LEE, W.H., CHAO, W.C. (2013). Materiality analysis model in sustainability reporting: a case study at Lite-On Technology Corporation. *Journal of Cleaner Production*, 57, 142-151.
- HUAHG, X.B., WATSON, L. (2015). Corporate social responsibility research in accounting. *Journal of Accounting Literature*, 34, 1-16.
- IAZZI, A., LIGORIO, L. (2021). Sustainable Development Goals and healthy foods: perspective from the food system. *British Food Journal*, 124(4), 1081-1102.
- KURUCZ E., COLBERT B., WHEELER D. (2008). The business case for corporate social responsibility. In Crane A., McWilliams A., Matten D., Moon J., Siegel D. (eds.), *The Oxford Handbook of Corporate Social Responsibility*, 83-112. Oxford University Press, Oxford.
- LOZANO, R. (2011). The state of sustainability reporting in universities. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 12(1), 67-78.
- MACHADO, B.A.A., PINTO DIAS, L.C., FONSECA, A. (2021). Transparency of materiality analysis in GRI-based sustainability reports. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 28, 570-580.
- MANES-ROSSI, F., TIRON-TUDOR, A., NICOLÒ, G., ZANELLATO, G. (2018). Ensuring More Sustainable Reporting in Europe Using Non-Financial Disclosure – De Facto and De Jure Evidence. *Sustainability*, 10(4), 1162.
- MITCHELL, R.K., VAN BUREN, H.J., III; Greenwood, M.; Freeman, R.E. (2015). Stakeholder Inclusion and Accounting for Stakeholders. *Journal Management Studies*, 52(7), 851-877.
- MOSKOWITZ, M. (1972). Choosing Socially Responsible Stocks. *Business and Society Review*, 1, 71-75.
- NAIDOO, M., GASPARATOS, A. (2018). Corporate environmental sustainability in the retail sector: Drivers, strategies and performance measurement. *Journal of Cleaner Production*, 203, 125-142.
- NAZIONI UNITE (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*.

- NOTARNICOLA, B., SALA, S., ANTON, A., MCLAREN, S.J., SAOUTER, E., SONNESSON, U. (2017). The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: a review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*, 140, 399-409.
- ÖBERSEDER, M., SCHLEGELMILCH, B.B., MURPHY, P.E., GRUBER, V. (2013). Consumers' Perceptions of Corporate Social Responsibility: Scale Development and Validation. *Journal of Business Ethics*, 124, 101-115.
- PEANO, C., TECCO, N., DANSERO, E., GIRGENTI, V., SOTTILE, F. (2015). Evaluating the sustainability in complex agri-food systems: the SAEMETH framework. *Sustainability (Switzerland)*, 7(6), 6721-6741.
- PERROTT, B. (2014). The sustainable organisation: blueprint for an integrated model. *Journal of Business Strategy*, 35(3), 26-37.
- PRETTY, J. (2008). Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 363(1491), 447-465.
- RAHDARI, A.H., ANVARY ROSTAMY, A.A. (2015). Designing a general set of sustainability indicators at the corporate level. *Journal of Cleaner Production*, 108, 757-771.
- SALA, S., CASTELLANI, V. (2019). The consumer footprint: Monitoring sustainable development goal 12 with process-based life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118050.
- SIEW, R. (2015). A review of corporate sustainability reporting tools (SRTs). *Journal of Environmental Management*, 164, 180-195.
- STEWART, R., NIERO, M. (2018). Circular economy in corporate sustainability strategies: a review of corporate sustainability reports in the fast-moving consumer goods sector. *Business Strategy and the Environment*, 27(7), 1005-1022.
- STOLOWY, H., PAUGAM, L. (2018). The expansion of non-financial reporting: an exploratory study. *Accounting and Business Research*, 48(5), 525-548.
- STRANIERI, S., ORSI, L., BANTERLE, A., RICCI, E.C. (2019). Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 26(2), 481-491.
- TILMAN, D., CLARK, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature Journal*, 515, 518-522.
- VALENTE, M. (2015). Business Sustainability Embeddedness as a Strategic Imperative: A Process Framework. *Business & Society*, 54(1), 126-142.

VRONTIS, D., CHRISTOFI, M., GIACOSA, E., SERRAVALLE, F. (2021). Sustainable development in tourism: a stakeholder analysis of the langhe region. *Journal of Hospitality and Tourism Research*, 46(5), 846-878.

I polifenoli come indicatori di qualità di vini autoctoni siciliani

Mattia Rapa

Sapienza Università di Roma

Vanessa Giannetti

Sapienza Università di Roma

Maurizio Boccacci Mariani

Sapienza Università di Roma

Martina Di Fabio

Sapienza Università di Roma

ABSTRACT

La Sicilia con il suo patrimonio agroalimentare contribuisce in maniera significativa al Made in Italy alimentare. I vini autoctoni rappresentano una delle eccellenze enogastronomiche dell'Isola in grado di conquistare quote di mercato sempre più ampie, offrendo una qualità di prodotto e di servizio sempre più elevata. Il presente studio mira all'identificazione di marcatori molecolari per la caratterizzazione e la tracciabilità di vini siciliani con l'obiettivo di fornire ai produttori, nonché ai consumatori, uno strumento oggettivo per valutare la qualità del prodotto finale. La componente polifenolica è da sempre considerata un attributo di qualità dei vini e specifici composti fenolici possono garantirne l'origine e la sua integrità. In questo studio è stato valutato il contenuto in polifenoli di vino Shiraz DOC siciliano ($n = 15$) e di altre regioni italiane ($n = 15$) mediante cromatografia liquida (HPLC/DAD).

I dati ottenuti dall'analisi quali-quantitativa, elaborati con tecniche di statistica multivariata, hanno messo in evidenza la presenza di specifici composti tipici dei campioni di vino siciliani. Tali sostanze potrebbero pertanto rappresentare possibili indicatori di prodotto per dare valore aggiunto ad un vino di qualità o per caratterizzare una specifica annata di produzione.

PAROLE CHIAVE: Vino, Qualità, Sicilia, Polifenoli, HPLC-DAD, Chemiometria

1 Introduzione

Il vino è una delle bevande alcoliche più diffuse nel mondo antico. Il suo consumo nell'antichità era considerato simbolo di prestigio sociale associato ad un concetto di benessere e convivialità, in un equilibrio perfetto tra

edonismo e salute. Nel corso della storia, esso è diventato un prodotto di largo consumo, oggi quotidianamente presente nella dieta mediterranea, diventando oggetto anche di numerosi studi in campo nutraceutico. Nonostante il vino sia composto principalmente da acqua ed etanolo, esso costituisce una miscela omogenea complessa. Infatti, seppur in concentrazioni minori, il vino contiene diversi sali minerali e varie sostanze organiche, alcune delle quali desiderabili poiché conferiscono specifiche caratteristiche organolettiche al prodotto e altre note per i loro effetti benefici sulla salute umana (Nemzer et al., 2022; Fabjanowicz et al., 2018). Particolarmente interessante, risulta la componente polifenolica che non solo contribuisce a fornire colore, astringenza e sapore al prodotto finito, ma è in grado di esibire un'azione antiossidante contribuendo positivamente a vari processi biologici associati alle malattie cronico-degenerative indotte dallo stress ossidativo e dall'età (Nemzer et al., 2022).

Gli acidi fenolici e i flavonoidi sono le classi di composti antiossidanti principalmente presenti nel vino e, in particolare, nel vino rosso. Chimicamente parlando, gli acidi fenolici sono composti organici che contengono almeno un gruppo fenolico e un gruppo carbossilico. Essi possono essere distinti in due gruppi: gli acidi idrossicinnamici (es. acido caffeico, acido ferulico, acido p-cumarico, ecc.) e gli acidi idrossibenzoici (es. acido gallico, acido p-idrossibenzoico, acido vanillico, ecc.) (Fabjanowicz et al., 2018). Mentre, i flavoni, i flavonoli, le antocianidine, i diidroflavonoli, gli isoflavoni, i flavanoni e i flavan-3-oli sono alcuni dei numerosi sottogruppi che compongono la famiglia dei flavonoidi, prodotti naturalmente dal metabolismo secondario delle piante (Palade et al. 2021).

Studi scientifici riportati in letteratura mostrano che la distribuzione dei composti polifenolici nei vini, oltre a dipendere dalla materia prima, è influenzata dalla temperatura di fermentazione e dalla durata di macerazione (Tarko et al., 2020; Anouar et al., 2012); di conseguenza, la valutazione della composizione polifenolica di un vino può consentire sia di classificare qualitativamente l'uva utilizzata per la vinificazione, sia di monitorare il processo di produzione subito dal prodotto.

I flavonoidi responsabili del colore dell'uva nera e rossa sono gli antociani, principalmente presenti come monoglicosidi di antocianidine, essi durante la vinificazione vengono parzialmente estratti nel mosto, diventando i responsabili del colore rosso del vino giovane. Successivamente, durante la maturazione e l'invecchiamento del vino, i loro livelli diminuiscono nel tempo a causa di reazioni che intercorrono con altri componenti del vino in grado di generare molecole più stabili (pigmenti naturali) che provocano variazioni di colore e perdita di astringenza (Anouar et al., 2012). Gli antociani, insieme ai tannini, rappresentano i maggiori responsabili delle proprietà organolettiche (astringenza, colore) del vino (Dipalmo et al., 2016).

Se i flavonoidi contribuiscono maggiormente al colore del vino, insieme agli acidi fenolici contribuiscono anche a conferire specifiche proprietà antiossidanti, quali antitrombotiche, antimutagene, antisclerotiche, radioprotettive, biliari e antispasmodiche; alcuni mostrano anche attività antinfiammatoria; e gli antociani, in particolare, hanno mostrato anche effetti antiglicemici e antitumorali, almeno in vitro (Negro et al., 2021; Kharadze et al., 2018).

Nella valutazione della qualità totale di un vino, continua a mostrare particolare attenzione per le sue spiccate proprietà nutraceutiche, riscontrate soprattutto in vitro, il resveratrolo (3,4,5-triidrossi-stilbene) (Kumar et al., 2021). Si tratta di un polifenolo, in particolare uno stilbene, che si trova naturalmente nella buccia dell'uva, in prodotti a base di uva e nel vino rosso. La sua concentrazione nei prodotti vinicoli è influenzata da diversi fattori, quali la cultivar di vite, quindi la varietà di uva, l'ambiente, ossia le condizioni pedoclimatiche come clima e suolo, e le tecnologie di vinificazione (Robbins, 2003). Chimicamente, il resveratrolo si trova sia in forma trans che cis, ma le sue proprietà bioattive sembrano essere maggiormente legate alla forma trans (Kumar et al., 2021). È stato dimostrato che il processo di vinificazione può essere responsabile della trasformazione di una certa quantità di trans-resveratrolo in cis-resveratrolo (Bradamante et al., 2004).

Le sue proprietà antiossidanti riguardano la prevenzione e il trattamento di malattie neurodegenerative (come il morbo di Alzheimer e il morbo di Parkinson) e di malattie antinfiammatorie (come l'artrite reumatoide) (Magrone et al., 2020). Tuttavia, i suoi benefici più conosciuti riguardano l'inibizione delle malattie cardiovascolari e la prevenzione di alcuni tipi di cancro (Robbins, 2003).

Quando si parla di definire la qualità di un vino è necessario quindi valutare tutti i parametri che concorrono a conferire al prodotto caratteristiche qualitative, e oltre ai parametri convenzionali quali, per esempio, il grado alcolico, l'acidità, le proprietà tattili (astringente, pungente, consistente) e le proprietà organolettiche (colore, odore, sapore, aroma) è fondamentale valutare anche quei parametri strettamente correlati al processo di vinificazione. Le diverse fasi e le diverse tecnologie di produzione di un vino portano infatti alla produzione di prodotti finali qualitativamente differenti sia in termini di proprietà nutrizionali che organolettiche.

Un altro indice di qualità dei vini è fornito, a livello normativo, dalla denominazione di origine. In Italia, la Legge 164/92 disciplina la qualità dei vini distinguendo i vini con denominazione di origine (DOC e DOCG) e i vini con indicazione geografica tipica (IGT) dai vini privi di indicazione riferita all'origine (vini da tavola). Tali prodotti, a seguito del processo di riforma dell'OCM (Organizzazione Comune di Mercato) del comparto vitivinicolo attuato dalla Comunità Europea, confluiscono nella

lista dei prodotti agro-alimentari DOP (Denominazione di Origine Protetta) e IGP (Indicazione Geografica Protetta) (Reg. UE 1308/2013).

La filiera italiana del vino rappresenta uno dei pilastri del sistema agroalimentare nazionale tanto che il vino, la vite e i territori viticoli sono definiti “patrimonio culturale nazionale” dall’Art.1 della Legge 238 del 12/12/2016 sulla Disciplina organica della coltivazione della vite e della produzione e del commercio del vino (c.d. T.U. del Vino). In Italia, il ruolo del comparto vinicolo è fondamentale sia per il mercato domestico che per quello internazionale, tanto che il nostro Paese e la Francia si alternano il primato nella classifica mondiale dei produttori di vino, con una produzione di circa il 18% del vino presente sul mercato (Rapporto Vinitaly, 2023). La produzione nazionale non è limitata a specifiche Regioni, ma rappresenta un’attività che le caratterizza tutte, seppur con quantità e specializzazioni differenti.

Oggetto del presente studio è la Sicilia, paragonabile ad un piccolo continente per le sue caratteristiche orografiche, che rendono tale regione incredibilmente diversificata in termini di zone vitivinicole. I vini siciliani differiscono a seconda della zona di produzione, delle condizioni pedoclimatiche, dei metodi di vinificazione e delle caratteristiche del vitigno. Attualmente, 31 vini prodotti in Sicilia sono riconosciuti per la loro elevata qualità da denominazioni DOP e IGP (Report MASAF, 2023).

L’Isola presenta diversi vitigni autoctoni, tra i quali il Nero d’Avola (o Calabrese), il Catarratto e il Grillo; tuttavia, risulta essere favorevole anche a vitigni alloctoni, come il Syrah che è un vitigno a bacca rossa diffuso in molte altre regioni italiane (Borsellino et al., 2020). In tale contesto, lo scopo di questo studio è stato quello di caratterizzare sulla base del profilo polifenolico campioni di vino rosso Syrah IGP e DOP con l’obiettivo di classificare i vini in base alla regione di origine, provenienti quindi da territori siciliani o da altre regioni italiane. La valutazione della componente polifenolica è stata ottenuta attraverso lo sviluppo ed ottimizzazione di una procedura RP-HPLC/DAD ed è stata eseguita l’analisi quantitativa tramite standard esterno di quattro composti polifenolici (acido gallico, acido p-idrossibenzoico, acido ferulico e *trans*-resveratrolo). I risultati sperimentali sono stati elaborati tramite analisi statistica multivariata implementando metodi di classificazione discriminante (Kharadze et al., 2018; Tuberoso et al., 2017).

2 Metodologia

2.1 Campioni e Materiali

I trenta campioni di vino Syrah, oggetto del presente studio, provengono da diverse regioni italiane: Sicilia (n = 15), Puglia (n = 3), Lazio

(n = 3), Abruzzo (n = 2), Marche (n = 2), Umbria (n = 2), Toscana (n = 2) e Valle D'Aosta (n = 1). I campioni sono stati donati, a sostegno dell'attività di ricerca, da aziende vitivinicole oppure acquistati presso supermercati della GDO. Tutti i vini sono certificati IGT e DOC. Pertanto, sono state individuate solo le regioni nelle quali si produce Syrah certificato.

I solventi utilizzati per l'analisi dei campioni sono: acetonitrile (purezza $\geq 99.9\%$), acido formico (purezza $\geq 95\%$), acqua HPLC Plus (purezza $\geq 99.9\%$), metanolo (purezza $\geq 99.9\%$), tutti forniti dalla Sigma-Aldrich. I composti standard utilizzati sono: acido gallico, acido p-idrossibenzoico, acido ferulico e *trans*-resveratrolo.

2.2 Analisi cromatografica

I campioni di vino sono stati analizzati tal quali previo passaggio su filtro monouso per siringa in acetato di cellulosa da 0.45 μm subito dopo l'apertura della bottiglia (Pajović Šćepanović et al., 2019; Ricci et al., 2019). I campioni sono stati analizzati in RP-HPLC/DAD (Waters 600 HPLC/Water 2996 Photodiode Array Detector System). La modalità di lavoro è la fase inversa con colonna apolare C18 (LC Kinetex C18, 5 μm 250 x 4.6mm I.D.) e fase mobile polare costituita da: fase A (acqua + 0.5% acido formico) e fase B: acetonitrile). Per la separazione cromatografica è stato utilizzato un gradiente di eluizione in accordo con la letteratura scientifica (Nemzer et al., 2022). La corsa cromatografica ha una durata di 35 minuti. I segnali ottenuti sono stati registrati ed elaborati mediante software Empower2 di cui è dotato lo strumento.

Per la costruzione delle curve di calibrazione, sono state preparate soluzioni standard degli analiti d'interesse in metanolo a concentrazioni crescenti ($R^2 > 0.99$ per tutti gli standard). Tutti i campioni sono stati analizzati in duplicato. Per l'analisi dei risultati, sono stati presi in considerazione i cromatogrammi registrati a 280 nm, lunghezza d'onda alla quale corrisponde il massimo di assorbimento della maggior parte dei polifenoli d'interesse (Pajović Šćepanović et al., 2019; Tuberoso et al., 2017).

Per la costruzione dei modelli chemiometrici, i dati cromatografici derivanti dall'analisi HPLC/DAD sono stati importati su MatLab (v.2015b; The Mathworks, Natick, MA).

3 Discussione dei risultati

Da una valutazione preliminare dei profili cromatografici è stato possibile osservare la presenza di una componente polifenolica caratteristica, sia in termini qualitativi, che quantitativi, per ciascun campione di vino Syrah analizzato. Successivamente, è stata condotta l'analisi quantitativa per quat-

tro composti presi come riferimento perché caratteristici di una determinata classe di polifenoli: l'acido gallico per quanto riguarda la classe degli acidi fenolici, l'acido p-idrossibenzoico per gli acidi benzoici, l'acido ferulico per gli acidi cinnamici e il *trans*-resveratrolo per la classe degli stilbeni. Le concentrazioni di questi analiti nei vini rossi Syrah analizzati sono state determinate mediante interpolazione con le rispettive curve di calibrazione. In aggiunta è stato eseguito un t-test a due code per evidenziare eventuali differenze significative tra i due gruppi di campioni (vini Syrah Sicilia vs. vini Syrah "altre regioni") (p-value < 0.01). I risultati sono riportati in Tabella 1.

Area Geografica	Cultivar	Acido Gallico $t_r = 3,4$ min	Acido p-Idrossibenzoico $t_r = 8.5$ min	Acido Ferulico $t_r = 13.2$ min	t-Resveratrolo $t_r = 18.6$ min
Sicilia (n = 15)	Syrah	134.91±40.80 ^a	86.01±20.46 ^a	6.08±2.78 ^a	0.76±0.61 ^b
Altre Regioni (n = 15)	Syrah	124.87±47.49 ^a	65.60±19.97 ^b	5.42±2,55 ^a	1.20±0.56 ^a

Tabella 1 – Caratterizzazione e concentrazione (espressa in mg/L) dei composti di riferimento nei vini. Lettere diverse tra le righe indicano differenza significativa

Seppur, l'analisi quantitativa è stata riferita a soli quattro composti fenolici, essa ha evidenziato significative differenze tra una classe e l'altra, considerando per classe la provenienza del vino dal territorio siciliano o da altre regioni. I campioni di vino siciliano presentano, infatti, un maggior contenuto di acido p-idrossibenzoico e un minore contenuto di *trans*-resveratrolo rispetto ai vini delle altre sette regioni prese in considerazione.

A seguito di queste prime evidenze, i risultati sperimentali sono stati elaborati attraverso l'uso di strumenti di analisi statistica multivariata.

La Figura 1 mostra la sovrapposizione dei profili cromatografici di alcuni dei campioni di Syrah analizzati appartenenti alle differenti regioni (Sicilia e non), acquisiti ad una lunghezza d'onda di 280 nm. I profili cromatografici di tutti i campioni analizzati sono stati pretrattati con l'algoritmo iCoshift, al fine di minimizzare il disallineamento, seppur minimo, nei tempi di ritenzione dei picchi d'interesse. Questo trattamento si rende necessario per migliorare la qualità dei risultati ed ottenere la massima correlazione.

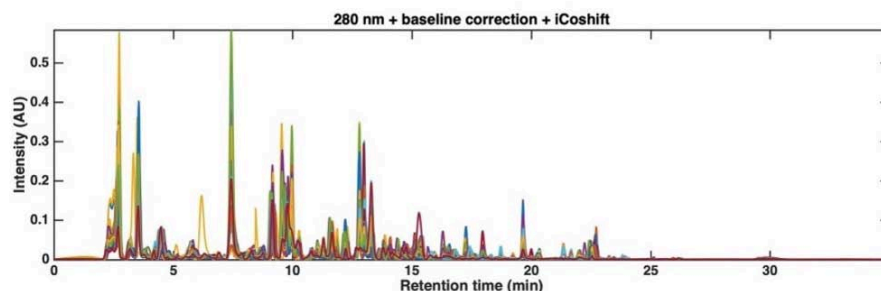


Figura 1 – Sovrapposizione dei trenta profili cromatografici dei campioni di vino Syraz analizzati a 280 nm

Successivamente, è stato costruito un modello di classificazione PLS-DA (Partial Least Squares-Discriminant Analysis) a due classi. La Classe “Sicilia” include tutti i vini provenienti dal territorio siciliano e la Classe “Altre regioni” comprende i vini provenienti da regioni italiane differenti dalla Sicilia. Questo modello è stato pensato nell’ottica di individuare specifici marker per la differenziazione di vini Syrah siciliani da quelli provenienti da altri territori italiani. Con lo scopo di individuare i composti (variabili) responsabili della discriminazione dei campioni si è proceduto a dividere in due il set dei campioni attraverso l’utilizzo dell’algoritmo Duplex, un gruppo è stato utilizzato per costruire il modello e l’altro per testarne la bontà. Il modello costruito ha classificato erroneamente solo una piccola parte dei campioni per classe. In termini di precisione, infatti, il modello di classificazione costruito mostra una buona percentuale di corretta classificazione, con oltre il 90% di corretta classificazione per entrambe le classi di campioni. Graficamente, si osserva che i campioni provenienti dalla Sicilia sono distribuiti in modo più compatto rispetto agli altri campioni che mostrano una distribuzione più eterogenea. Tuttavia, trattandosi di risultati ancora preliminari (fase dello studio ancora in corso) si è preferito non riportare i grafici relativi al modello di classificazione in quanto è necessario un popolamento più significativo di campioni per entrambe le classi studiate per validare il modello stesso.

4 Conclusioni

Il presente studio è stato finalizzato alla caratterizzazione della componente polifenolica di Vini Syrah (DOP e IGP) prodotti da diverse aziende vitivinicole distribuite sul territorio italiano e in particolare a mettere in luce possibili differenze tra i vini provenienti dalla regione Sicilia e quelli originari di altre regioni.

L'analisi cromatografica in HPLC/DAD della componente polifenolica dei campioni ha fatto emergere significative differenze tra i diversi campioni presi in considerazione.

Dal punto di vista dei singoli polifenoli sono state riscontrate differenze in termini quantitativi. I campioni di Syrah siciliani hanno presentato una concentrazione maggiore di acido p-idrossibenzoico e minore di *trans*-resveratrolo rispetto ai vini delle altre sette regioni analizzate (le uniche dove si produce Syrah DOP o IGP). Inoltre, attraverso la costruzione di un primo modello di classificazione PLS-DA, ancora da validare, è stato possibile osservare una netta separazione tra le due classi considerate: "Sicilia" vs. "Altre Regioni".

Allo stato attuale dello studio, i risultati possono essere considerati soddisfacenti poiché, prendendo in analisi i cromatogrammi a 280 nm, il modello PLS-DA implementato assegna correttamente oltre il 90% dei campioni siciliani alla classe di riferimento "Sicilia" e dei campioni provenienti da altri territori alla classe "Altre regioni". I risultati, seppur buoni, sono stati ottenuti con un numero ancora limitato di campioni, per quanto collezionati in maniera rappresentativa, e questo rappresenta certamente un limite; si rende necessario, pertanto, validare i risultati su un set più ampio di campioni per rispondere concretamente all'obiettivo di ricerca. Inoltre, è necessario evidenziare il fatto che l'analisi qualitativa è stata estesa a tutte le classi di composti fenolici, sarà pertanto necessaria un'analisi specifica che sia in grado di individuare quali di questi composti polifenolici contribuiscono significativamente alla differenziazione delle due classi. Attraverso la valutazione dei pesi delle variabili che definiscono le diverse classi sarà quindi possibile individuare i composti responsabili in maggior misura della discriminazione dei campioni. La VIP (*Variable importance in projection*) scores analysis attraverso la quale è possibile valutare i VIP scores che spiegano quanto le diverse variabili contribuiscano alla discriminazione rappresenta una fase dello studio ancora in corso).

Ringraziamenti

Si ringraziano le seguenti aziende per la fornitura di campioni offerti gratuitamente a scopi di ricerca: Azienda Agricola Di Prima, Feudo San Giorgio, Abbazia Sant'Anastasia, Casano Vini, Tenuta Rapitalà, Azienda Agricola Badalà, Cantina Cellaro, Cantine Teanum, Notterossa Wine, Azienda Agricola Casale del Giglio, Cantina Volpetti, Tenuta Oderisio, Cantina Terra Argillosa, Tenuta Poggio Divino e Cantina La Source.

Si ringrazia, inoltre, il collega Prof. Federico Marini per il supporto nell'elaborazione dei dati.

References

- ANOUAR, E.H., GIERSCHNER, J., DUROUX, J.L., TROUILLAS, P. UV/Visible spectra of natural polyphenols: A time-dependent density functional theory study. *Food Chemistry*, 2012.
- BORSELLINO, V., VARIA, F., ZINNANTI, C., SCHIMMENTI, E. The Sicilian Cooperative System of Wine Production: The Strategic Choices and Performance Analyses of a Case Study. *Int. J. Wine Bus. Res.*, 2020.
- BRADAMANTE, S., BARENGHI, L., VILLA, A. Cardiovascular protective effects of resveratrol. *Cardiovascular Drug Reviews*, 2004.
- DIPALMO, T., CRUPI, P., PATI, S., CLODOVEO, M.L., DI LUCCIA, A. Studying the evolution of anthocyanin-derived pigments in a typical red wine of Southern Italy to assess its resistance to aging. *LWT - Food Science and Technology*, 2016.
- FABJANOWICZ, M., PŁOTKA-WASYLKA, J., NAMIEŚNIK, J. Detection, identification and determination of resveratrol in wine. *Problems and challenges. Trends in Analytical Chemistry*, 2018.
- KHARADZE, M., JAPARIDZE, I., KALANDIA, A., VANIDZE, M. Anthocyanins and antioxidant activity of red wines made from endemic grape varieties. *Annals of Agrarian Science*, 2018.
- KHARADZE, M., JAPARIDZE, I., KALANDIA, A., VANIDZE, M. Anthocyanins and antioxidant activity of red wines made from endemic grape varieties. *Annals of Agrarian Science*, 2018.
- KUMAR, A, KONAR, A, GARG, S, KAUL, S.C., WADHWA, R. Experimental evidence and mechanism of action of some popular neuro-nutraceutical herbs. *Neurochemistry International*, 2021.
- MAGRONE, T., MAGRONE, M., RUSSO, M.A., JIRILLO, E. Recent Advances on the Anti-Inflammatory and Antioxidant Properties of Red Grape Polyphenols: In Vitro and In Vivo Studies. *Antioxidants*, 2020.
- MINISTERO DELL'AGRICOLTURA, DELLA SOVRANITÀ ALIMENTARE E DELLE FORESTE. Elenco Alfabetico Vini DOP e Elenco Alfabetico Vini IGP. 2023. Accessibile a: <https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/4625#id2a1c4cce6d31ae2df2cf30a47cca7012>
- NEGRO, C., APRILE, A., LUVISI, A., DE BELLIS, L., MICELI, A. Antioxidant Activity and Polyphenols Characterization of Four Monovarietal Grape Pomaces from Salento (Apulia, Italy). *Antioxidants*, 2021.
- NEMZER, B., KALITA, D., YASHIN, A.Y., YASHIN, Y.I. Chemical Composition and Polyphenolic Compounds of Red Wines: Their Antioxidant Activities and Effects on Human Health—A Review. *Beverages*, 2022.

- NESCATELLI, R., BONANNI, R.C., BUCCI, R., MAGRÌ, A.L, MAGRÌ, A.D., MARINI, F. Geographical traceability of extra virgin olive oils from Sabina PDO by chromatographic fingerprinting of the phenolic fraction coupled to chemometrics. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2014.
- PAJOVIĆ ŠČEPANOVIĆ, R., WENDELIN, S., RAIČEVIĆ, D. ET AL. Characterization of the phenolic profile of commercial Montenegrin red and white wines. *Eur Food Res Technol*, 2019.
- PALADE, L.M., CROITORU, C., ALBU, C., RADU, G.L., POPA, M.E. Identification of Tentative Traceability Markers with Direct Implications in Polyphenol Fingerprinting of Red Wines: Application of LC-MS and Chemometrics Methods. *Separations*, 2021.
- PORGALI, E., BÜYÜKTUNCEL, E. Determination of phenolic composition and antioxidant capacity of native red wines by high performance liquid chromatography and spectrophotometric methods. *Food Research International*, 2012.
- RAPPORTO VINITALY. Vinitaly (studio): vino campione italiano di bilancia commerciale (+7,4 mld di euro) in 10 anni dal 4° al 1° posto. I nuovi numeri della filiera: 31,3 mld il fatturato, 530 mila le imprese, 870 mila gli addetti. Danesi (ad VeronaFie-re): dare giusta considerazione a capitale strategico per Made in Italy. 2023.
- RICCI, A., TESLIC, N., PETROPOLUS, V.I. ET AL. Fast Analysis of Total Polyphenol Content and Antioxidant Activity in Wines and Oenological Tannins Using a Flow Injection System with Tandem Diode Array and Electrochemical Detections. *Food Anal. Methods*, 2019.
- ROBBINS, R.J. Phenolic Acids in Foods: An Overview of Analytical Methodology. *Agric. Food Chem*, 2003.
- TARKO, T., DUDA-CHODAK, A., SOSZKA, A. Changes in Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Fruit Musts and Fruit Wines during Simulated Digestion. *Molecules*, 2020.
- TUBEROSO, C.I.G., SERRELI, G., CONGIU, F., MONTORO, P., FENU, M.A. Characterization, phenolic profile, nitrogen compounds and antioxidant activity of Carignano wines. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2017.

Il mercato italiano del cibo pronto per animali di affezione: un settore merceologico in continua evoluzione

Giancarlo Palumbo
Università di Napoli “Federico II”

ABSTRACT

Il rapporto Assalco-Zoomark 2023 riporta che in Italia vivono 65 milioni di animali d'affezione, con un rapporto uno a uno con la popolazione umana; tale notevole interesse è certamente frutto di cambiamenti socio-culturali e, dal febbraio 2022, trova anche la tutela Costituzionale. Il mercato del pet food è così continuamente in crescita e la ricerca scientifica in ambito nutrizionale veterinario e i progressi tecnologici hanno innalzato il livello qualitativo di tali alimenti con un'offerta commerciale estremamente accattivante e ben differenziata. Solleva naturalmente anche una serie di criticità e di potenziali insidie quali la gestione dei claim nutrizionali, del controllo di qualità delle materie prime, così come questioni legate alla sostenibilità ed alla salubrità del packaging.

Si tratta di un settore dalle straordinarie opportunità di crescita economica ed importantissimo anche perché costituisce un formidabile strumento di circolarizzazione degli scarti della filiera agroalimentare.

A ciò si deve aggiungere che la consolidata reputazione mondiale degli alimenti “made in Italy” si riverbera positivamente anche sulla fiducia degli acquirenti degli alimenti per animali di affezione, costituendo quindi anche una straordinaria opportunità di export parallela a quella degli alimenti per uso umano.

In questo lavoro si fa una disamina, alla luce delle opportunità e delle criticità, delle interessanti prospettive di questo settore merceologico che si dimostra essere, per la sua lunga storia, oltre che promettente anche in continua evoluzione sia dimensionale che qualitativa ed estremamente resiliente.

PAROLE CHIAVE: animali da compagnia; nutrizione animale; economia circolare; simbiosi industriale; qualità dei mangimi; mercato pet food;

1 Introduzione

Alla fine del XIX secolo, in Inghilterra, una felice intuizione di James Spratt portò ad installare nel 1870 a Londra il primo forno per la

produzione dei primi biscotti per cani “Patented Meat Fibrine Dog Cake” di cui, accolti da un grande successo commerciale, si arrivò a produrne, con notevole lungimiranza, numerose varietà diverse per gusti e per taglia dell’animale, anche integrati con olio di fegato di merluzzo (all’epoca molto usato come ricostituente per bambini gracili), sia secchi che umidi inscatolati: ‘Dog Cakes’ (meat fibre and fish and meat), Puppy biscuits (regular and with cod liver oil), ‘Malt-milk’ for puppies, ‘Weetmeet’. Da allora, a parte poche battute di arresto dovute ad eventi congiunturali, quali ad esempio la scarsità di metallo per il confezionamento dei cibi umidi per la requisizione durante la seconda guerra mondiale, alternati a momenti favorevoli come la maggiore disponibilità di carne di cavallo a basso costo, venduta inscatolata con il marchio Ken-L Ration, il mercato degli alimenti per gli animali da compagnia è stato inarrestabile. La continua ricerca in ambito nutrizionale veterinario e i progressi tecnologici hanno fatto sì che i pet food abbiano oggi un livello qualitativo molto elevato e l’offerta commerciale è estremamente accattivante e ben differenziata per soddisfare tutte le esigenze per il benessere degli animali di affezione.

Partito da cibi per cani e gatti il settore ha poi seguito l’evoluzione della tipologia degli animali da compagnia cominciando ad includere pesci, uccelli, rettili, ampliandosi notevolmente. Indipendentemente dal formato, alimenti umidi in lattina, vaschetta e busta, secchi estrusi, prodotti semi-umidi e molto altro, i produttori fanno del loro meglio per assicurare qualità, sicurezza e completezza nutrizionale di ogni tipologia di alimento. Infatti, oggi la maggior parte dei proprietari di pet nel mondo scelgono pet food pronto proprio per la completezza nutrizionale, spesso diversificata in base a specifiche esigenze veterinarie, la comodità, varietà, economicità e per il gradimento da parte degli animali.

2 Dimensioni del mercato italiano, europeo e mondiale

Secondo il rapporto Assalco-Zoomark 2023 solo in Italia si stima che vivano 65 milioni di animali d’affezione (cani, gatti, ma anche pesci, uccelli, rettili, etc) con un rapporto uno a uno con la popolazione umana e per la Federazione europea degli alimenti per animali domestici (European Pet Food Federation, FEDIAF) circa il 38% di tutte le famiglie dell’Unione Europea possiede almeno un animale domestico, come da stime del 2020 circa 110,1 milioni di gatti e 89,9 milioni di cani. Il risultato è un settore di mercato senza crisi e sempre in crescita già ribattezzato “Pet economy” che include oltre al Pet food anche il Pet care che, solo in Italia, ha raggiunto nel 2021 un valore di 2,5 miliardi di euro. Mercato che non sembra conoscere crisi, dimostrando anzi una notevole resilienza e nono-

stante la pressione inflattiva osservata in quasi tutti i settori merceologici, e per il quale ulteriore impulso è derivato dalla recente pandemia di COVID. Tant'è che, secondo il rapporto Zoomark Assalco, nelle famiglie italiane vivono 5 milioni di pet in più rispetto al periodo pre-pandemia.

Anche se il pet food per cani e gatti rappresenta il segmento principale in Italia, grosso modo equamente ripartito tra le due specie, non bisogna dimenticare che, secondo stime Euromonitor riportate nel citato Rapporto Assalco, sono presenti anche quasi 30 milioni di pesci, circa 3,2 milioni tra piccoli mammiferi e rettili e quasi 13 milioni di uccelli, con vendite in crescita del 6,3% a valore e volumi stabili, seguono gli alimenti per roditori, che confermano anch'essi un trend in crescita, sviluppando un fatturato di quasi 13,2 milioni di euro presso la Grande Distribuzione Organizzata.

La Federazione europea, Fediaf, del pet food ha stimato essere presenti in Europa più di 350 milioni di animali da compagnia tra cani, gatti, uccellini, piccoli mammiferi, rettili e numero di acquari (Fediaf - Facts&Figures 2022). A livello mondiale, da studi della società di ricerca e consulenza di mercato, Grand View Research, la dimensione globale del mercato degli alimenti (cibo umido, snack /dolcetti) per i soli animali domestici cane e gatto è stata valutata a oltre 99 miliardi di dollari nel 2022 e si prevede che mostrerà un tasso di crescita annuale composto (CAGR) del 4,3% dal 2023 al 2030 e un giro d'affari globale di oltre 100 miliardi nel 2023. Secondo un rapporto dell'USDA del 2020, inoltre, il mercato asiatico, ed in particolare quello cinese, rappresenta una grossa opportunità in termini di espansione commerciale (USDA, 2020). Secondo tale rapporto, dal 2015 al 2019 la percentuale di famiglie cinesi che possiedono cani o gatti è aumentata rispettivamente del 40% e del 131%, mentre le esportazioni statunitensi di alimenti per animali domestici verso la Cina sono aumentate dell'88% rispetto al 2018.

Nella classifica The World's Top 10 Pet Food Companies, pubblicata dalla testata Petfood Industry, dopo la Mars Petcare Inc., prima con 19,5 miliardi di dollari di fatturato, seguita da Nestlé Purina PetCare (poco meno di 19,4 miliardi di dollari) e gli altri consolidati colossi del settore, Hill's Pet Nutrition, J.M.Smucker, general Mills etc., la prima delle aziende italiane a comparire nella classifica dei maggiori produttori di pet food al mondo è Monge & C. S.p.A., società piemontese con un fatturato globale di 500 milioni di dollari. Farmina Pet Foods, continua poi a salire nella graduatoria con un fatturato annuale di 367 milioni. Fra le prime 50 società leader mondiali troviamo anche altre due aziende italiane: Morando, con poco più di 141 milioni, e Agras Pet Foods, stabile con 125 milioni. Seguono poi altre realtà produttive con bilanci meno consistenti ma sempre in crescita. Le prospettive di sviluppo del mercato italiano del pet food e la sua proiezione aldilà dei confini nazionali sono dunque estremamente interessanti.

3 Dal food waste al pet food

Nell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite è pianificato l'obiettivo di creare modelli di produzione sostenibili. La criticità principale da superare nel perseguimento di tale obiettivo è come agire in modo integrato sull'aspetto climatico e produttivo. È ormai accertato che oltre 800 milioni di persone nel mondo soffrono la fame e il mondo dovrà colmare un divario del 56% tra la quantità di cibo disponibile oggi e quella richiesta entro il 2050. Nel frattempo, gli attuali sistemi di produzione alimentare, insostenibili, sono in gran parte responsabili della distruzione degli ecosistemi mondiali, con riflessi negativi sul clima. Infatti, l'agricoltura che utilizza quasi la metà del suolo produttivo del mondo e consuma il 70% dei prelievi di acqua dolce, provoca la deforestazione nelle nazioni tropicali e genera quasi un quarto delle emissioni globali di gas serra. Inoltre i cambiamenti nel regime alimentare in molte parti del mondo non fanno altro che aumentare la domanda di alimenti ad alta intensità di risorse.

Secondo il rapporto FAO 2011, *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*, di tutto il cibo prodotto nel mondo ogni anno, approssimativamente un terzo in peso e circa un quarto in termini di calorie viene perso o sprecato nelle varie fasi tra l'azienda agricola e la tavola. Anche porzionature poco differenziate e dimensioni delle confezioni troppo grandi, disinformazione sulle date relative alla durabilità («da consumarsi preferibilmente entro il...» e «da consumare entro il...») o sulla corretta conservazione, contribuiscono al food waste. Secondo Gli Analisti del World Resources Institute - *Creating a Sustainable Food Future*, ciò corrisponde all'8% delle emissioni annuali di gas serra in tutto il mondo, o all'equivalente di 4,4 gigatonnellate di anidride carbonica. A livello globale, la perdita e lo spreco alimentare si traducono in perdite economiche di quasi 1 trilione di dollari. Ma le perdite nella filiera alimentare e il cibo sprecato annualmente rappresentano un problema, oltre che economico ed ambientale, anche etico. Per contro la riduzione degli sprechi, migliorando potenzialmente l'accesso economico al cibo, può aumentare la sua disponibilità e contribuire alla diminuzione dei prezzi degli alimenti. Notevole è, dunque, l'attenzione internazionale su questo tema, fermamente ripreso nell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile (FAO, 2019).

Anche per il cibo pronto per gli animali d'affezione la sostenibilità non è solo ambientale, ma sottende anche questioni etiche potendosi verificare, sotto la spinta di dinamiche di un mercato assai redditizio, una competizione tra la destinazione di materie prime pregiate potenzialmente utilizzabili per l'alimentazione umana, verso la produzioni di pet food. Una sempre maggiore attenzione viene pertanto rivolta, per il pet food destinato a cani e gatti, all'enorme serbatoio del food waste, comprendente oltre gli

scarti della lavorazione dei prodotti di origine animale e vegetale, i rifiuti alimentari confezionati invenduti/invendibili non per strette ragioni di edibilità presso la vendita al dettaglio, o quelli derivanti, ad esempio, dall'hotel catering. Le industrie del settore possono essere interessate alla valorizzazione di queste frazioni di scarto, spesso pregiate, per sostituire o integrare la carne proveniente dai macelli, valutando il modo più opportuno di introdurle, quali materie prime, nelle ricette dei propri prodotti. Così molti alimenti le cui caratteristiche organolettiche sono decadute, ma ancora perfettamente edibili, e la cui natura è appropriata per essere riclassificati come materie prime per l'alimentazione animale, possono essere sottratti con l'up-cycling alla distruzione o al semplice compostaggio. Anche ad esempio cereali e legumi infestati da insetti una volta bonificati e controllati analiticamente in laboratorio potrebbero essere tranquillamente destinati alla produzione di mangimi composti per animali domestici o per la produzione di fibre atte ad integrare i cibi pronti umidi o, specialmente, secchi.

L'idea di utilizzare gli scarti alimentari per l'alimentazione intensiva degli animali da allevamento non è nuova (Westendorf, 2000), ma fino ad ora generiche ragioni di sicurezza, nutrizionali e/o di efficienza ne hanno ridotto la portata, oppure ne è stato limitato o inibito l'impiego, in diversi Paesi del mondo, a causa di restrizioni legali spesso scaturite da emergenze sanitarie o dall'applicazione generica del principio di precauzione. Nell'Unione Europea, l'impiego dei rifiuti della ristorazione per gli animali da allevamento (diversi dai pesci e dagli animali da pelliccia) è stata vietata già dal Regolamento (CE) n. 1774/2002 recante norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale non destinati al consumo umano, perché possono, specie se crudi, essere vettori di malattie infettive. La Dir. 2002/32/CE relativa alle sostanze indesiderabili nell'alimentazione degli animali prevede verifiche sulle materie prime, sugli additivi, sugli alimenti e sui mangimi di provenienza nazionale, comunitaria o extra UE per valutare la conformità ad un apposito elenco, ivi riportato, di sostanze indesiderate o non autorizzate o proprie dell'alimento, quali residui di farmaci veterinari, agenti chimici contaminanti, di cui sono indicati i livelli massimi di accettabilità.

Il successivo regolamento (CE) n. 1069/2009, abroga il Regolamento (CE) n. 1774/2002 e riporta norme sanitarie relative ai sottoprodotti di origine animale e ai prodotti derivati non destinati al consumo umano e conferma il divieto dell'alimentazione di animali d'allevamento, diversi da quelli da pelliccia, con rifiuti di cucina e ristorazione. Quindi conformemente a tale Regolamento i rifiuti di cucina e ristorazione possono essere trasformati e successivamente utilizzati, purché i prodotti derivati non siano impiegati come mangime per tali animali. Tuttavia, si deve osservare che nell'ambito di queste prescrizioni, che tendono a salvaguardare salubrità e

adeguatezza nutrizionale, si dovrebbero diversificare i criteri di accettabilità e sicurezza almeno per quegli alimenti destinati agli animali da compagnia.

Sono sempre più numerosi gli studi che stanno valutando l'applicabilità degli scarti o dei cibi ancora edibili che offrono una serie di garanzie essendo confezionati, studi in cui si è valutato l'impatto ambientale della valorizzazione della frazione carne proveniente dai rifiuti alimentari confezionati per pet food di alta qualità (Mosna, 2021, Rajeh, C., 2021, Pinku, 2023). Una valutazione del ciclo di vita dello scenario attuale (produzione tradizionale di pet food e smaltimento in discarica dei rifiuti alimentari confezionati) e di quello proposto dagli autori (produzione di cibo per animali domestici dalla frazione di carne proveniente da scarti alimentari confezionati), effettuata applicando il metodo di valutazione dell'impatto ReCiPe 2016, ha dimostrato minori impatti ambientali rispetto al processo tradizionale, in termini di GWP (-56,40%), consumo di acqua (-22,62%), uso del suolo (-87,50%) e utilizzo di risorse fossili (-21,78%).

Anche il progetto finanziato dall'UE "Food for Feed" (F4F) (LIFE15 ENV/GR/000257) mira a valutare il potenziale utilizzo dei rifiuti della ristorazione alberghiera nell'alimentazione degli animali, stabilendo un livello di inclusione raccomandato per i rifiuti alimentari umani essiccati. Si tratta di un progetto pilota, realizzato a Creta, che mira a trasformare gli scarti alimentari, provenienti in particolare dalla ristorazione alberghiera di lusso, in mangimi per animali, grazie a una tecnologia innovativa che utilizza un processo di essiccazione solare. La tecnologia prevede un efficiente sistema di raccolta dei rifiuti alimentari successivamente sottoposti, dopo cernita, a triturazione, polverizzazione ed essiccazione in serra a pompa di calore, per una capacità lavorativa di 1,5 t/die. Dal 2018 al 2020 sono state raccolte e trattate più di 500 tonnellate di rifiuti alimentari convertite in più di 100 tonnellate di componente per mangime per animali domestici, suini e polli da carne, con risultati incoraggianti.

Si stanno, dunque, moltiplicando i numerosi studi di fattibilità sull'impiego di cibo non più adatto all'alimentazione umana per la produzione di cibo per animali da compagnia, individuando le potenziali fonti di materie prime di cui effettuare un upcycling per realizzare un prodotto a valore aggiunto.

Un contributo alla riduzione dell'impatto ambientale del cibo per animali domestici e alla sua sostenibilità, può provenire anche dagli innovativi mangimi proteici a base di insetti edibili (che i cani pare gradiscano particolarmente) spesso venduti come ipoallergenici. Per sfruttare sempre più tutti i vantaggi offerti dalle proteine degli insetti (basti solo pensare che possono essere allevati con opportuni scarti agroalimentari) e garantirne la massima diffusione occorre però tener conto innanzitutto di alcuni ostacoli di natura tecnica relativi all'allevamento e alle tecnologie di produzione,

nonché di sicurezza igienico sanitaria (Rumpold BA, 2013). Attualmente l'Europa, seguita dal Nord America, è il mercato più importante per tali alimenti, anche perché sostenuto dalla Commissione Europea del 2017 che ha consentito l'utilizzo di sette specie di insetti per l'alimentazione di pesci e animali domestici. L'Italia, potrebbe utilizzare i sottoprodotti della filiera agroalimentare per lo sviluppo industriale di insetti edibili anche per l'alimentazione animale, che rappresenta un mercato, a sua volta, con incoraggianti prospettive (Siani, G. 2021).

4 Sicurezza alimentare e qualità del pet food

Le industrie produttrici di pet food curano con estrema attenzione la sicurezza alimentare e la qualità che è generalmente elevata. Dall'ultima relazione del Ministero della Salute italiano che predispose il Piano Nazionale di Controllo Ufficiale sull'Alimentazione Animale emerge che il 99% dei campioni prelevati per gli alimenti per animali da compagnia è risultata conforme ai parametri stabiliti per legge. I controlli in-house delle maggiori case produttrici non si limitano al controllo di qualità sulle materie prime ma anche a quelli sul prodotto finito, per quanto riguarda il rispetto dei parametri microbiologici o la determinazione dei livelli di micotossine, metalli pesanti, pesticidi, sostanze indesiderate o adulteranti, controlli effettuati in varie fasi del ciclo produttivo. A corredo vengono effettuati anche esami merceologici, come valutazione del livello di ossidazione delle sostanze grasse oltre a parametri di base come ceneri, fibre, grassi, umidità e proteine su tutti i prodotti grezzi e finiti, perfino un'analisi sensoriale sul prodotto finale per verificarne la conformità agli standard organolettici di produzione (Koppel, 2014).

Un notevole problema che può minare la fiducia dei pet owners nei cibi pronti è la frequenza dei richiami di pet foods per varie cause, non di rado quando già si sono verificati dei problemi: errori, abusi o frodi nell'etichettatura, inadeguato potere nutrizionale, contaminazioni microbiologiche, presenza di corpi estranei, patogeni o tossine, adulterazione degli ingredienti, etc. Le criticità possono riguardare qualsiasi punto della catena di fornitura, dall'azienda agricola che alleva il bestiame al magazzino di stoccaggio merci. Carenze normative o mancanza di chiarezza nell'individuazione delle responsabilità nel sistema di monitoraggio sono causa di inefficienza nel controllo di qualità e aumentano il rischio di non conformità o di richiami degli alimenti per animali domestici.

Se è relativamente semplice individuare il problema a valle, può essere molto più complesso individuare le cause e porre rimedio alla situazione. Le difficoltà sono dovute alla complessità delle catene di produzione e di-

stribuzione degli alimenti per animali domestici in cui, oltre al fatto che le materie prime hanno provenienze diverse, esse vengono acquistate e, quindi, controllate in lotti diversi viste le dimensioni aziendali soprattutto di quelle aziende con numerose filiali. Naturalmente esistono diversi sistemi di allerta rapido: in Italia è stato adottato il nuovo “Piano nazionale di emergenza per alimenti e mangimi” (Rep. Atti 103/CSR del 10 maggio 2023). Tale piano è stato elaborato dal Ministero della salute, dalle Regioni e dalle P.A. per gli aspetti di relativa competenza, in attuazione dell’articolo 115 del regolamento (UE) n. 625/2017 che prevede la redazione, da parte degli Stati membri, di piani di emergenza, soggetti ad aggiornamento e revisione periodica, in cui siano stabilite le misure da applicare prontamente laddove alimenti o mangimi dovessero comportare un serio rischio sanitario per l’uomo o gli animali, direttamente o mediante l’ambiente. E in attuazione della Decisione di Esecuzione (UE) 2019/300 della Commissione del 19 febbraio 2019, che istituisce un piano generale per la gestione delle crisi riguardanti la sicurezza degli alimenti e dei mangimi, è previsto che nei casi in cui una situazione che comporti un rischio grave non possa essere controllata nell’ambito delle disposizioni esistenti, la Commissione possa istituire tempestivamente un’unità di crisi cui partecipano tutte le Autorità coinvolte a diversi livelli, fornendo supporto scientifico e tecnico.

Un potente aiuto nella gestione delle emergenze alimentari, al fine di limitare il rischio di richiami e aumentare la fiducia dei consumatori nei marchi di alimenti per animali domestici, può provenire dalla tecnologia blockchain. Quest’ultima è un tipo di struttura dati del tipo DLT (Distributed Ledger Technology), cioè registri di informazioni digitalizzati e decentralizzati, caratterizzata dal raggruppamento gerarchico in forma di catena di blocchi (da cui, appunto, block-chain) collegati tra loro e protetti mediante sistemi crittografici, che consente in definitiva la registrazione cronologica di dati su un registro pubblico immutabile e ad integrità garantita da opportuni algoritmi e sistemi crittografici, distribuito su più nodi di computer. La natura stessa del funzionamento della tecnologia blockchain mostra la sua potenzialità nel fornire trasparenza e verificabilità delle catene di approvvigionamento globali anche nell’ambito del pet foods, limitando drasticamente il rischio di ritiri di prodotti già immessi sul mercato e esercitando una forte deterrenza contro il rischio di operazioni fraudolente.

5 L’industria del pet food: prospettive e ostacoli

Sempre più produttori vantano l’impiego di materie prime di eccellente qualità e propongono prodotti pronti al consumo i cui spot pubblicitari suggeriscono, quasi, una notevole analogia con gli alimenti ad uso

umano. Quest'allineamento dell'industria ad una domanda sempre più esigente dei proprietari di animali domestici riflette la cosiddetta umanizzazione dei pet (in Italia 9 milioni di cani e 10 milioni di gatti). I pet owner sono clienti sempre più informati ed esigenti, attenti al benessere dell'animale, ormai visto come un membro della famiglia e per i quali dunque la scelta di acquisto è sempre più ispirata agli stessi criteri di alta qualità, salutistici, ecologici, etici, espressi per gli alimenti ad uso umano. Tendono, quindi, i proprietari di pet, in particolare di cani e gatti, a far condividere ai propri beniamini le stesse scelte alimentari (organic, no ogm...) in qualche caso, anche quando non richiesto dal veterinario, perfino cibi vegetariani (con le ovvie riserve nutrizionali del caso); ciò anche per il fatto che gli animali domestici tendono ad assimilare lo stile di vita dei loro proprietari e quindi a soffrire ad esempio di obesità, patologie legate alla sedentarietà, e così, anche qui, i consumatori tenderanno ad acquistare prodotti: low calories, low salt, rich in antioxydants, senza coloranti, esattamente come fanno nello scegliere i propri alimenti. Giungendo perfino ai raffinati spot pubblicitari gastronomici, con ricette da gourmet che sono la scontata risposta in termini di strategia di vendita ad un profilo di clienti mediamente così sensibile ed evoluto.

Il più recente Rapporto Assalco-Zoomark analizza i principali trend che muovono gli acquisti di pet food. Vengono infatti preferiti prodotti "rich in", "free from" e, naturalmente il prestigioso Made in Italy la cui consolidata reputazione mondiale pure in ambito alimentare si riverbera positivamente perfino sulla fiducia degli acquirenti degli alimenti per animali di affezione, costituendo, quindi, per l'industria italiana anche una straordinaria opportunità di export parallela a quella degli alimenti per uso umano. Un altro driver di acquisto molto importante può essere la contestualizzazione dei claim e degli spot pubblicitari in funzione dello specifico Paese di esportazione, ovvero dei profili dei proprietari di animali domestici enfatizzando gli aspetti relativi alla sicurezza alimentare e al benessere per l'animale a cui proporre cibi gratificanti.

Le aziende italiane del pet food, collegate in qualche modo a filiere alimentari di alta qualità possiedono, dunque, notevolissime potenzialità anche nell'espansione del mercato non solo nazionale ma soprattutto internazionale. L'ostacolo principale al potenziamento dell'export, non solo italiano, sembra essere la scarsa armonizzazione normativa mondiale in tema di cibi per animali domestici, che si sostanzia di fatto in una barriera alla circolazione internazionale. La problematica, come è stato evidenziato nell'ultimo Pet Food Forum, è particolarmente sentita negli Stati Uniti dove, non esistendo un unico ente di sorveglianza, oltre alla ridondanza di competenze di enti pubblici o alla sovrapposizione di disposizioni federali, le aziende produttrici devono fare i conti con normative statali difformi tra

loro, a cui si aggiungono disposizioni federali (Food and Drug Administration), associative come l'AAFCO (Associazione ufficiale americana per il controllo degli alimenti per animali) o congressuali (come il Food Safety Modernization Act), che ostacolano l'approvvigionamento, la produzione e la commercializzazione al di là dei confini nazionali.

Anche in Europa non esiste una centralizzazione normativa e di controllo e il compito di regolare e controllare la produzione, la commercializzazione e l'importazione di alimenti destinati agli animali domestici è condivisa da Consiglio, Parlamento e Commissione europea, che emanano norme e direttive, nonché dalle associazioni veterinarie e dalle associazioni di produttori come la Federazione europea delle industrie degli alimenti per animali (FEDIAF), che tra l'altro si assume il compito assai importante di fissare gli standard di etichettatura con la pubblicazione annuale del "Good Labelling Practice for Pet Food", una guida pratica all'etichettatura e alla commercializzazione degli alimenti per animali domestici, rivista annualmente. Il Codice contiene informazioni sull'uso, sul controllo e l'applicazione dei prodotti, la vendita al dettaglio e il marketing compresi chiarimenti sugli aspetti nutrizionali ed eventuali claims. Corredata di un allegato Annex 12: Pet food labelling, A Guide for Customers, per facilitarne l'applicazione, si propone l'obiettivo di garantire una comprensione unificata in tutta l'UE.

Un'altra criticità da mitigare al fine di creare le condizioni per migliorare l'export e accedere anche ai nuovi interessantissimi mercati emergenti come quello asiatico, è quella dell'ottimizzazione e centralizzazione della raccolta, conservazione e lavorazione degli scarti di macellazione e lavorazione della filiera agroalimentare, magari opportunamente gestita da un apposito Consorzio centrale che raccolga e coordini il vivace consorzialismo spontaneo. A puro titolo di esempio, tra gli innumerevoli, il Consorzio Gatteo Proteine (FC) nato con l'obiettivo di garantire una gestione sinergica tra le cooperative agro-alimentari associate, le quali rappresentano quasi in toto il settore della macellazione italiana avicola e conferiscono alla sede consortile i loro scarti produttivi. Oppure altra fonte di materie prime può provenire dal recupero degli oli esausti che solitamente vengono destinati alla produzione di saponi, cosmetici, lubrificanti e, soprattutto, combustibili green, ma che, almeno per oli o grassi selezionati, potrebbero con opportuni trattamenti essere destinati alla formulazione dei pet food. Il consorzio di competenza è il CONOE un Consorzio istituito con la funzione di organizzare, controllare e monitorare la filiera degli oli e dei grassi vegetali ed animali esausti a fini ambientali e a tutela della salute pubblica; la riduzione della dispersione del rifiuto trasforma un costo ambientale ed economico in una risorsa rinnovabile.

Un tale ipotetico consorzio pet food oltre a sinergizzarsi con gli altri

consorzi agrari e al ricco associazionismo di recupero, dovrebbe avere un ufficio economico-legale per l'internazionalizzazione che operi con l'assistenza tecnico-scientifica e medico veterinaria di Enti di ricerca, Università e Laboratori merceologici. Il coordinamento anche normativo con i numerosi attori del "sistema" di sorveglianza dei mangimi e degli alimenti per animali domestici permetterebbe di sostenere in modo virtuoso le attività delle aziende italiane e di contribuire nel contempo alla circolarizzazione della nostra filiera agroalimentare. Certamente uno dei compiti necessari dovrebbe essere la chiara informazione e rassicurazione al consumatore per dissipare quei pregiudizi nei confronti degli scarti alimentari e del loro riciclo/riutilizzo, visto che molti proprietari non acquisterebbero per i loro animali domestici alimenti contenenti materie prime da essi derivati.

References

- RAPPORTO ASSALCO – ZOOMARK 2023, Alimentazione e cura degli animali da compagnia italiani e animali da compagnia: una relazione di valore <<https://www.assalco.it/>>
- FEDIAF – FACTS&FIGURES 2022 https://europeanpetfood.org/_/news/new-fediaf-facts-figures-highlights-the-growth-of-european-pet-ownership/
- GRAND VIEW RESEARCH, PET FOOD MARKET SIZE <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/pet-food-industry>>
- USDA https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2020-08/pet_food_iatr-final_0.pdf
- Nel 2022, quattro italiane nella top 50 mondiale dei produttori di pet food <<https://www.petfoodindustry.com/top-pet-food-companies>>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2019). The State of Food and Agriculture. Moving forward on Food Loss and Waste Reduction. <<https://www.fao.org/>>
- KOPPEL K., Sensory analysis of pet foods, *J. Sci. food agric.* 2014 aug; 94(11):2148-53 <https://www.statoregioni.it/it/conferenza-statoregioni/sedute-2023/seduta-del-10052023/atti/repertorio-atto-n-103csr/> <<https://www.petfoodforumevents.com/>>
- MOSNA D., BOTTANI E., VIGNALI G., MONTANARI R., Environmental benefits of pet food obtained as a result of the valorisation of meat fraction derived from packaged food waste, in *Waste Management* 125 (2021) 132–144
- PINKU CHANDRA NATH, Valorization of Food Waste as Animal Feed: A Step towards Sustainable Food Waste Management and Circular Bioeconomy *Animals* 2023, 13, 1366. <https://doi.org/10.3390/ani13081366>
- PROGETTO EU FOOD FOR FEED <https://life-f4f.esdak.gr/wp-content/uploads/2022/02/deliverable-cl.5.pdf> environmental benefits of pet food obtained as a result of the valorisation of meat fraction derived from packaged food waste, etc
- RAJEH, C., SAOUD, I.P., KHARROUBI, S. ET AL. (2021) Food loss and food waste recovery as animal feed: a systematic review. *J Mater Cycles Waste Manag* 23, 1–17 <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01102-6>
- RUMPOLD BA, SCHLÜTER OK. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol Nutr Food Res.* 2013 May;57(5):802-23. doi: 10.1002/mnfr.201200735. Epub 2013 Mar 8. PMID: 23471778

SIANI, G., STEFANUTTI, D. "Pet food alternativi: - insect-based, grain free e pressati", *Veterinaria Year* 35, n. 4, August 2021, Pages:173 - 180
WESTENDORF MICHAEL I, Food waste to animal feed editor(s): phd,first published:1 november 2000, print isbn:9780813825403 |doi:10.1002/9780470290217.

Il Progetto ILCIDAF per lo sviluppo di un database italiano di Life Cycle Inventory dei prodotti agroalimentari: la fase di panificazione

Bruno Notarnicola
Università degli Studi di Bari
Pietro Alexander Renzulli
Università degli Studi di Bari
Francesco Astuto
Università degli Studi di Bari
Rosa Di Capua
Università degli Studi di Bari
Gianfranco Umile Spizzirri
Università degli Studi di Bari
Maurizio De Molfetta
Università degli Studi di Bari
Donatello Fosco
Università degli Studi di Bari

ABSTRACT

The Project of Relevant National Interest (PRIN,2017) entitled: “Italian Life Cycle Inventory Database of Agri-Food Products”(ILCIDAF), financed by the Ministry of University and Research, aims to promote the sustainability of the agri-food sector through the development of a database on a national and regional scale for some food chains that are significant for the Italian economy (bread and pasta, wine, olive oil and citrus fruits). The research project consists of four Scientific Units: respectively the University of Bari, Chieti-Pescara, Messina and Reggio Calabria, each of which develops a specific food chain indicated above. The database is constructed considering the entire supply chain of the indicated foodstuffs. The University of Bari has previously provided contributions relating to the agricultural phase of wheat, the milling phase and the milling phase and the pasta-making phase. In this paper, however, the phase of the bread-making process of hard and soft wheat bread. The data were acquired through information provided by the companies in the sector (field data) by means of appropriately drafted questionnaires and company reports. In addition, the same analysed and processed data were compared with data available in the literature selected using specific keywords in research platforms and from public data described in sector EPDs.

KEY WORDS:

ABSTRACT

Il Progetto di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN, 2017) dal titolo: “Italian Life Cycle Inventory Database of Agri-Food Products” (ILCIDAF), finanziato dal Ministero dell’Università e della Ricerca, ha come scopo quello di promuovere la sostenibilità del settore agroalimentare attraverso lo sviluppo di un database a scala nazionale e regionale per alcune filiere alimentari significative per l’economia italiana (pane e pasta, vino, olio d’oliva e agrumi). Il progetto di ricerca è costituito da quattro Unità Scientifiche: rispettivamente l’Università di Bari, Chieti-Pescara, Messina e Reggio Calabria ognuna delle quali sviluppa una determinata filiera agroalimentare sopra indicata. Il database è costruito considerando l’intera catena di approvvigionamento degli alimenti indicati. L’Università degli Studi di Bari ha già fornito, in precedenza, contributi relativi alla fase agricola del grano, alla fase di molitura e alla fase di pastificazione. In questo lavoro è descritta, invece, la fase del processo di panificazione del pane di grano duro e tenero. I dati sono stati acquisiti attraverso informazioni fornite dalle aziende del settore (dati sul campo) mediante la compilazione di questionari opportunamente redatti e report aziendali. Inoltre, gli stessi dati analizzati e rielaborati, sono stati confrontati con dati disponibili in letteratura scelti utilizzando keywords specifiche nelle piattaforme di ricerca e dai dati pubblici descritti nelle EPD di settore.

PAROLE CHIAVE: pane; panificazione; database; farina; semola; macinazione.

1 Introduzione

Diverse iniziative promosse e finanziate a livello nazionale stanno procedendo, negli ultimi anni, verso la realizzazione di banche dati per i settori più rappresentativi del sistema economico italiano (Notarnicola et al., 2022a). Tali progetti hanno lo scopo di superare uno dei maggiori punti critici presenti nella metodologia “Life Cycle Assessment” (LCA), conforme alle norme ISO 14040:2021 e ISO 14044:2021, ossia la carenza di banche dati (Notarnicola et al., 2017a) complete e rappresentative dal punto di vista geografico, temporale e tecnologico di un determinato processo analizzato. Fra le attività e i progetti attualmente in corso ci sono rispettivamente: il Progetto di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN, 2017) dal titolo “Italian Life Cycle Inventory Database of Agri-Food Products” (Progetto ILCIDAF) finanziato dal Ministero dell’Università e della Ricerca; il Progetto ARCADIA coordinato e sviluppato da ENEA e finanziato con i Fondi Strutturali e di Investimento Europei (fondi SIE) a titolarità dell’attuale Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica e, infine, il Progetto

GRINS (Growing Resilient, Inclusive and Sustainability) finanziato dal programma Next Generation EU e con fondi PNRR.

Il Progetto ILCIDAF ha come scopo quello di promuovere la sostenibilità del settore agroalimentare attraverso lo sviluppo di un database a scala nazionale e regionale per alcune filiere alimentari significative per l'economia italiana (pane e pasta, vino, olio d'oliva e agrumi). Infatti, dopo uno studio approfondito (Notarnicola et al., 2022b) è emerso che per queste filiere non esistono dataset rappresentativi per il territorio italiano. Il progetto di ricerca è costituito da quattro unità scientifiche: rispettivamente l'Università di Bari, Chieti-Pescara, Messina e Reggio Calabria, ognuna delle quali sviluppa una determinata filiera agroalimentare sopra indicata. Il database è costruito considerando l'intera catena di approvvigionamento degli alimenti indicati. In particolare, l'Unità di Bari, cui appartengono gli autori di questo lavoro, si occupa della catena di approvvigionamento della pasta e del pane e lo studio è stato perseguito considerando come confini del sistema la fase di coltivazione del grano duro e tenero, la fase di molitura del grano, la fase di produzione della pasta e del pane. Quest'ultima fase sarà oggetto di discussione nel paper, mentre le precedenti sono state studiate, analizzate e pubblicate in altri lavori, in altri Convegni nazionali e internazionali o in pubblicazioni su riviste indicizzate.

2 Metodologia

Lo studio prevede come risultato la costruzione di dataset relativi alla fase di produzione di pane in diversi formati e tipologie di farina (grano tenero, duro o integrale) e per far sì che si realizzi tale obiettivo è stato perseguito il metodo di seguito riportato. Si è scelto di analizzare dati primari, quindi, sono stati raccolti direttamente in impianto di produzione presso un'azienda di notevole importanza presente nel Sud Italia che vende i propri prodotti sull'intero territorio nazionale, lavorando e producendo anche per altri marchi. I dati sono stati raccolti attraverso la somministrazione di questionari debitamente compilati considerando la catena di approvvigionamento sotto il diretto controllo della azienda. I dati sono stati distinti in base al tipo di prodotto in uscita: pane tradizionale di semola di grano duro e semola integrale di grano duro, pane di grano tenero per burger e hot-dog. I dati acquisiti hanno interessato gli input e gli output dell'impianto di produzione e poi opportunamente allocati in quanto non tutti forniti con lo stesso livello di aggregazione. Sono stati analizzati i consumi di materie prime in ingresso necessarie per l'impasto del pane (quantità e tipo di sfarinato in ingresso, acqua necessaria per l'impasto, uova, olio, sale, lievito e altri ingredienti minori), il consumo di energia elettrica e termica neces-

sario per il funzionamento dell'impianto e per la fase di cottura del pane (consumi totali aggregati e opportunamente divisi per linea di produzione e prodotti in uscita), il packaging per il confezionamento del prodotto finale, i sotto-prodotti e gli scarti di produzione. In particolare, il consumo di energia elettrica e termica, fornito dalla lettura delle bollette e dei contatori aziendali, è indicato in maniera aggregata. Nel caso di energia elettrica da rete sono distinti i consumi per linea di produzione per cui si producono specifici prodotti. Questo dettaglio ha consentito di allocare in maniera opportuna i consumi per prodotto in uscita nota la quantità prodotta annualmente per ciascuna linea di produzione e tipologia di pane. Tuttavia vi è anche l'aggiunta di energia elettrica prodotta da un impianto di pannelli fotovoltaici (FTV) che contribuisce all'11,6% del consumo elettrico totale di tutto il processo aziendale. Questa quantità di energia elettrica non è differenziata per i vari utilizzi e per le varie linee di produzione, ma semplicemente garantisce un minor richiesta di energia dalla rete elettrica. La quantità totale prodotta con l'impianto fotovoltaico è stata equamente divisa per tutti i prodotti in uscita e in tal modo, la quantità di kWh per kg di prodotto è la stessa fra i 5 dataset rappresentati.

Inoltre, per quanto riguarda gli output "Ingrao et al., 2018" sotto-linea che la perdita di peso (pari a circa 1/3 dell'impasto) è dovuta alla resa del processo di lavorazione, ossia la perdita di massa che si manifesta naturalmente come conseguenza alla fase di cottura. Per definire tali quantità, in modo tale da individuare i diversi output del processo di cottura, si è scelto di moltiplicare dei fattori forniti dall'azienda relativi alla perdita in peso dell'impasto, per l'acqua necessaria all'impasto, in modo tale da determinare la quantità di acqua evaporata in seguito alla cottura del pane. La restante parte è attribuita alle perdite di materia del processo: impasto bruciato, scarti, residui dovuti alla cottura in forno, che fungeranno da materia prima secondaria per la produzione di pangrattato in azienda.

Questo approccio metodologico ha permesso la creazione di 5 dataset relativi ai differenti prodotti dell'impianto. Successivamente, tali risultati sono stati confrontati con dati raccolti da letteratura visionati attraverso le piattaforme di ricerca scientifica. È stata eseguita una ricerca indicando le keywords necessarie per la raccolta bibliografica, ossia: bread, LCA e Life Cycle Assessment. Delle pubblicazioni presenti sono state selezionate quelle riportanti i dati relativi al processo di produzione in modo tale da poter effettuare una comparazione fra questi dati e quelli aziendali considerando come unità funzionale un chilogrammo di pane prodotto. Un ulteriore confronto è stato effettuato utilizzando i dati pubblicati nelle EPD (Environmental Products Declaration) di settore relative ai prodotti da forno, seppur riconoscendo che i dati pubblicati all'interno delle EPD spesso riportano dati troppo aggregati per essere utilizzati per la costruzione

di un database e per il confronto con altri dati raccolti sul campo molto più specifici e disaggregati (Notarnicola et al., 2023). Infine, verificato il confronto, i dati sono stati elaborati per la costruzione del database del progetto ILCIDAF.

In Tabella 1, sono indicate le informazioni principali dei paper selezionati in ordine cronologico decrescente e, per semplicità, a ciascuno di essi è stato attribuito una lettera identificativa in ordine alfabetico. La ricerca bibliografica secondo la metodologia indicata ha portato all'individuazione di 12 paper, di cui solo 8 indicano dati più o meno completi relativi al processo di produzione del pane. Sono questi i paper che sono stati utilizzati per il confronto e riportati di seguito.

(a)	2020	Camara-Salim et al.,	Life cycle assessment of autochthonous varieties of wheat and artisanal bread production in Galicia, Spain
(b)	2019	Svensen et al.,	Effects of Packaging and Food Waste Prevention by Consumers on the Environmental Impact of Production and Consumption of Bread in Norway
(c)	2018	Ingrao et al.,	Energy and environmental assessment of a traditional durum-wheat bread
(d)	2017 b	Notarnicola et al.,	Energy flows and greenhouses gases of EU (European Union) national breads using an LCA (Life Cycle Assessment) approach
(e)	2017	Chiarico et al.,	The contribution to climate change of the organic versus conventional wheat farming: A case study on the carbon footprint of wholemeal bread production in Italy
(f)	2015	Kulak et al.,	Life cycle assessment of bread from several alternative food networks in Europe
(g)	2014	Jansen et al.,	Product carbon footprint of rye bread
(h)	2011	Espinoza-Orias et al.,	The carbon footprint of bread

Tabella 1 – Elenco dei paper selezionati

Le EPD selezionate (codice CPT 234, “bakery products”) seguono le PCR relative ai prodotti da forno e in particolare sono state scelte le EPD per la produzione di pane di grano tenero, duro e integrale con piccole variazioni per quanto riguarda ingredienti minori.

3 Risultati

I risultati ottenuti sono stati inseriti in tabelle affinché sia possibile una analisi comparativa degli stessi. I risultati non sempre sono riferiti per lo stesso tipo di prodotto, in quanto alcune pubblicazioni fra quelle selezionate sono, per esempio, sviluppate per prodotti locali caratteristici di aree limitate del territorio nazionale, altri, invece, sono relativi a prodotti stranieri oppure realizzati attraverso sfarinati di natura differente o con l'aggiunta di cereali diversi dal grano duro e/o tenero. I dati raccolti in azienda sono stati distinti in base al prodotto in uscita e, in particolare, in Tabella 2 sono rappresentati i dati in input e in output di 5 differenti tipologie di pane in uscita dall'impianto.

Articolo	u.m.	Burger	Hot-dog	Muffoletta	Pagnotta semola integrale	Pagnotta semola
INPUT						
Farina tipo 0	kg	0,661	0,651			
Semola	kg			0,712	0,497	0,750
Crusca	kg				0,159	
Acqua	L	0,311	0,306	0,495	0,559	0,494
Olio di semi	kg	0,034	0,033	0,039		
Additivo	kg	0,012	0,012			
Saccarosio	kg	0,073	0,049			
Destrosio	kg			0,026		
Glutine	kg				0,015	
Sale	kg	0,016	0,015	0,017	0,015	0,015
Lievito	kg	0,031	0,018		0,005	
Lievito naturale	kg			0,024	0,1	0,135
Sesamo	kg	0,020				
Gas	smc	0,073	0,073	0,086	0,103	0,103
Elettricità da rete	kWh	0,135	0,105	0,151	0,136	0,174
Elettricità da FTV	kWh	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
Packaging PP (300g)	kg	0,02	0,02	0,02		

Packaging PP (450g)	kg				0,05	0,05
OUTPUT						
Prodotto	kg	1	1	1	1	1
Scarto (umido)	kg	0,090	0,022	0,042	0,063	0,096
Acqua persa in cottura	L	0,062	0,017	0,102	0,119	0,105
Scarto (in cottura)	kg	0,004	0,044	0,169	0,168	0,192

Tabella 2 – Dati on-field presso impianto di produzione di pane del Sud Italia

Dei 5 tipi di pane, due (burger e hot-dog) sono prodotti con farina di grano tenero, altri due con solo semola di grano duro (pagnotta di semola e muffoletta) e uno (pagnotta di semola integrale di grano duro) sia con la semola di grano duro che con l'aggiunta di crusca.

In Tabella 3, sono rappresentati tutti gli input e gli output relativi alle materie prime in ingresso, al consumo di risorse e all'uscita di prodotti e sottoprodotti per gli 8 articoli selezionati. Al primo rigo della tabella è specificato anche il paese e l'eventuale regione di origine.

	u.m.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h.1)	(h.2)	(h.3)	(h.4)
Paese		ES Galicia	NO	IT Sicily	EU IT	IT	UE	DK	UK			
INPUT												
Farina	kg	0,71	0,56		0,548		0,661	0,633	0,591		0,617	
Semola	kg			0,724								
Farina integrale	kg					1,15				0,567		0,617
Segale	kg		0,076				0,245					
Orzo	kg		0,012									
Acqua	L	0,6	0,25	0,47	0,479		1,850	0,487	0,36	0,38	0,35	0,35
Pasta madre	kg			0,13								
Olio d'oliva	kg				0,096							
Sale	kg	0,0143	0,0165		0,031	0,001	0,011	0,014	0,0082	0,0082	0,0062	0,0062

Zucchero	kg				0,014							
Lievito	kg	0,012	0,0165		0,003			0,001	0,0221	0,0226	0,0123	0,0123
Estratto di malto d'orzo	kg							0,011				
Latte scremato	kg										0,0123	0,0123
Additivi impasto	kg										0,0002	
Semi	kg		0,03									
Altro	kg		0,035						0,019	0,0202		
Acqua lavaggio	L							0,088				
Gusci da bruciare	kg					4,38						
Energia	kWh	0,05							0,75	0,75	0,299	0,299
E. Elettrica	kWh		0,297	0,150	0,178	0,26	0,553	0,187				
E. Termica	kWh		0,115		0,108			0,358				
PET	kg		0,0019			0,007	0,0042					
Carta	kg		0,0014			0,001						
OUTPUT												
Pane	kg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Residui	kg	0,0085	0,033		0,171			0,067				
Etanolo	kg	0,023		0,024								
CO2	kg	0,024		0,023								
Carta straccia	kg					0,008						
Liquami	m3						0,0015					
Vapore	kg							0,1				

Tabella 3 – Dati ottenuti dalla raccolta bibliografica

Gli 8 lavori selezionati permettono di individuare 11 diversi tipi di pro-

dotto: sette pani prodotti con farina di grano tenero, uno con farina di semola e altri tre con farina integrale. Di questi, per due prodotti è prevista l'aggiunta di segale e per uno solo oltre alla segale vi è anche una piccola quantità di orzo.

Le EPD selezionate sono state 5, tutte relative alla produzione di pane già affettato sia di grano tenero che di grano duro con l'aggiunta, per alcuni prodotti, di particolari ingredienti (non specificati in termini di quantità). In Tabella 4, sono indicati i valori medi delle 5 EPD relative a 13 prodotti simili fra loro.

Uso delle risorse			
Risorse di energia primarie rinnovabili	Uso come vettore di energia	kWh	0,3833
	Uso come risorsa	kWh	0,0000
Risorse di energia primarie rinnovabili	Uso come vettore energia	kWh	1,0357
	Uso come risorsa	kWh	0,0000
Materie prime secondarie		kg	0,0000
Combustibili secondari rinnovabili		kWh	0,0000
Combustibili secondari non rinnovabili		kWh	0,0000
Uso delle risorse idriche		L	6,7108
Flussi in uscita dal sistema			
Coprodotti destinati ad alimentazione animale		kg	0,0444
Componenti per il riuso		kg	0,0000
Materiali per il riciclo		kg	0,0263
Materiali per il recupero energetico		kg	0,0000
Energia esportata, elettrica		kWh	0,0000
Energia esportata, termica		kWh	0,0000
Rifiuti			
Rifiuti pericolosi a smaltimento		kg	0,0000
Rifiuti non pericolosi a smaltimento		kg	0,0070
Rifiuti radioattivi a smaltimento		kg	0,0017

**Tabella 4 – Dati medi derivanti da EPD relative a “prodotti da forno”
(codice CPT 234)**

4 Discussione

La raccolta dati effettuata nelle aziende del Sud Italia ha permesso la realizzazione dei flussi in entrata e in uscita per 5 diverse tipologie di

pane sia di grano duro che di grano tenero. La quantità di sfarinato utilizzata per 1 kg di prodotto è pressoché simile per le diverse tipologie, variando da un minimo di 0,651 kg (grano tenero, hot-dog) a un massimo di 0,750 kg (grano duro, pagnotta di semola). Il pane prodotto con farina di grano tenero richiede meno farina per l'impasto, mentre quello prodotto con grano duro prevede una quantità maggiore di semola per produrre un kg di prodotto. Si deduce che la quantità di sfarinato per l'impasto della pagnotta di semola è circa il 15% maggiore rispetto alla farina necessaria per l'impasto degli hot-dog. Anche la quantità di acqua per l'impasto è minore per il pane prodotto con la farina di grano tenero. Infatti, per il grano tenero la quantità minima di acqua utilizzata è di 0,306 kg per gli hot-dog e una quantità poco maggiore di 0,311 L per i burger. Il pane di semola presenta una quantità di acqua variabile da 0,490 L per la pagnotta di semola, poco maggiore di 0,495 L per la muffoletta e 0,559 L per la pagnotta integrale. La quantità di acqua per l'hot-dog è circa il 45% in meno di quella necessaria per l'impasto della pagnotta integrale. Anche il consumo di energia elettrica prevede un consumo maggiore per i pani con semola (pagnotta di grano duro) e un consumo minore per quelli con farina di tipo 0 (hot-dog) risultando quest'ultimo il 38% inferiore rispetto al primo. Il consumo di gas, invece, è uguale per entrambi i pani con farina di tipo 0 (valore minimo), mentre il valore massimo lo si ha per la produzione della pagnotta integrale di grano duro con un consumo di energia elettrica di circa il 41% maggiore rispetto al consumo minimo. Le altre quantità in input fanno riferimento agli ingredienti minori non sempre presenti in tutti e 5 i prodotti del panificio. Fra gli scarti di produzione (output) quantità minore si ha per gli hot-dog, seguiti dalla muffoletta e dalla pagnotta integrale. I valori più alti per kg di pane in uscita si registrano per il burger e per la pagnotta di semola di grano duro. La produzione di un kg di hot-dog comporta delle quantità di scarti il 77% inferiori rispetto alla pagnotta di semola. A questi scarti vanno considerati anche quelli che naturalmente si perdono in seguito al processo di cottura. Il pane prodotto con la farina di semola subisce una perdita di peso maggiore in forno rispetto a quello di grano tenero a causa della maggior quantità di acqua necessaria per l'impasto. Inoltre, risulta più croccante, meno morbido dei burger e degli hot-dog.

Confrontando questi risultati con quelli estrapolati dai paper selezionati si evince che i risultati ottenuti sono comparabili. Considerando i risultati bibliografici medi (Tabella 3) l'impasto per il pane di grano tenero prevede 0,548 kg di farina, mentre per l'impasto di grano duro sono necessari 0,724 kg di semola. La quantità di acqua necessaria all'impasto varia fra 0,25 L a 0,6 L per un valore medio di 0,52 L per kg di pane prodotto. Solo per un particolare tipo di pane (f), caratterizzato da un impasto per

quasi 1/3 di orzo e i restanti 2/3 di farina, è richiesta una quantità di acqua elevata pari a 1,85 L e di conseguenza maggiore energia per la cottura. Anche i valori medi degli ingredienti secondari sono confrontabili con le quantità raccolte presso il panificio. Considerando, invece, il consumo di energia elettrica, i dati medi bibliografici sono leggermente superiori. Il consumo elettrico medio (escludendo quello associato alla cottura del pane “f” in quanto caratterizzato da un impasto notevolmente differente) è di 0,28 kWh. Il consumo di energia medio risultante dall’analisi bibliografica, risulta, quindi, superiore al consumo medio di energia elettrica indicato in impianto per tutti e 5 i tipi di pane pari a circa 0,14 kWh da rete a cui vanno aggiunti i 0,03 kWh da fotovoltaico per un totale di circa 0,17 kWh. Al contrario il consumo di energia termica (quantificato in smc e considerando un fattore di conversione in kWh pari a 10,69), è superiore a quello medio calcolato attraverso i dati di letteratura. Nel complesso il consumo di energia dei dati di impianto risulta superiore al consumo medio indicato negli articoli selezionati. Sostanzialmente, si evidenzia un range maggiore per i risultati ottenuti dagli articoli. Infatti, il pane rappresentativo delle aziende del Sud Italia risulta inserirsi all’interno delle quantità minime e massime individuate attraverso i dati indicati nei paper per quanto concerne la materia prima in ingresso, mentre i dati energetici risultano essere superiori nei paper selezionati per quanto riguarda l’energia elettrica, mentre il contrario lo si ha per l’energia termica. Questo risultato è dovuto alla tecnologia installata presso il panificio. Gli ingredienti minori risultano avere quantità molto simili fra loro nonostante in alcuni casi il pane sia prodotto anche con altri tipi di cereali (per esempio soia o orzo). Gli scarti e i rifiuti, invece, risultano essere superiori per il pane rappresentativo del Sud Italia rispetto a quelli indicati nei diversi paper.

Per quanto riguarda i dati medi derivati da EPD, consentono più che altro per indicare un ordine di grandezza delle quantità in input e in output associate alla produzione di pane. Infatti, come indicato in “Notaricola et al., 2023” i dati pubblicati nelle EPD sono troppo aggregati per l’utilizzo in un database italiano dettagliato, senza poter associare metadati fondamentali per comprendere la natura o la provenienza di una data grandezza, per esempio il tipo di energia, i coprodotti in uscita, le emissioni in aria. Inoltre, alcune grandezze come il consumo di energia o la quantità di acqua risultano essere sovrastimate rispetto ai dati individuati presso l’impianto e attraverso la raccolta bibliografica. Sintetizzando, la presentazione dei dati nel formato EPD non consente di avere dettagli sulle ricette dei prodotti rappresentati. Infatti, i dati pubblicati nelle EPD sono rappresentati in maniera molto aggregata e questo rende molto difficile una comparazione e un confronto con altri dati più dettagliati. Inoltre, risultano essere insufficienti per lo sviluppo di un database, tuttavia resta la loro utilità in

quanto rappresentano documenti ufficiali pubblicati e associati a prodotti ampiamente consumati sul territorio nazionale.

5 Conclusioni

Il confronto dei dati raccolti negli impianti di produzione del Sud Italia, dei dati di letteratura e dei dati medi delle EPD relative ai prodotti italiani da forno conferma la buona rielaborazione dei dati raccolti on-field da utilizzare per la costruzione di dataset di produzione di pane all'interno del database ILCIDAF. Tuttavia, esistono piccole particolarità dovute alla tecnologia utilizzata, al tipo di energia, oppure a particolari tipi di sfarinati utilizzati e ingredienti minori che differenziano, in taluni casi, i prodotti comparati. Questo evidenzia la necessità di avere dati specifici in quanto notevoli differenze sono dovute anche alla possibilità di disporre di determinati ingredienti, ma anche a usanze, tradizioni e produzione di prodotti tipici di una particolare area geografica. I dataset costruiti saranno successivamente caricati open-source sul sito ILCIDAF. La metodologia eseguita per la rielaborazione dei dati impiantistici ha permesso di realizzare 5 dataset relativi alla panificazione: 2 relativi al pane prodotto con farina di tipo 0 per burger e hot dog, 1 dedicato ad un pane prodotto con semola di grano duro dalle dimensioni contenute e altri 2 relativi a pagnotte (di più grandi dimensioni) una prodotta attraverso semola di grano duro e l'altra mediante semola integrale. Dai risultati ottenuti si osserva una minore necessità di materia prima (sfarinati, ingredienti minori e acqua) in ingresso per il pane prodotto con farina di grano tenero di tipo 00, mentre maggiori sono le quantità richieste per il pane prodotto con la semola. Stessa osservazione è valida per il consumo di energia elettrica, ricordando che sul consumo totale di energia elettrica consumata, quello da rete è opportunamente diviso per linea di produzione (88,4% del totale), mentre quello prodotto da impianto fotovoltaico, pari all'11,6% del totale, è fornito in maniera aggregata senza poter distinguere la tipologia di utilizzo (cioè per linee di produzione o per altri usi). Inoltre, per la costruzione di database specifici e rappresentativi per la fase di produzione di pane, attraverso la raccolta sul campo di dati primari, sarebbe auspicabile la collaborazione di un maggior numero di imprese di settore a iniziative e attività di ricerca volte alla costruzione di database specifici italiani.

Ringraziamenti

Questo articolo fa parte dei risultati del progetto di ricerca "Promoting

Agri-Food Sustainability: Development of an Italian LCI Database of Agri-Food Products (ILCIDAF)” (PRIN – Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale 2017- Prot. 2017EC9WF2, settore ERC SH2, Linea C- finanziato dal Ministero dell’Università e della Ricerca (MUR).

References

- CAMARA-SALIM, I., ALMEIDA-GARCIA, F., GONZALEZ-GARCIA, S., ROMERO-RODRIGUEZ, A., RUIZ-NOGUEIRAS, B., PEREIRA-LORENZO, S., FEIJOO, G., MOREIRA, M.T. (2020). Life cycle assessment of autochthonous varieties of wheat and artisanal bread production in Galicia, Spain. *Science of the Total Environment*, 713, 136720. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136720>.
- CHIRIACÒ, M.V., GROSSI, G., CASTALDI, S., VALENTINI, R. (2017). The contribution to climate change of the organic versus conventional wheat farming: A case study on the carbon footprint of wholemeal bread production in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 153, 309-319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.111>.
- ESPINOZA-ORIAS, N., STICHTNOTHE, H., AZAPAGIC, A. (2011). L'impronta di carbonio del pane. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16, 351-365.
- INGRAO, C., LICCIARDELLO, F., PECORINO, B., MURATORE, G., ZERBO, A., MESSINEO, A. (2018). Energy and environmental assessment of a traditional durum-wheat bread. *Journal of Cleaner production*, 171, 1494-1509. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.283>.
- ISO, 2021A. ISO 14040:2021. Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. International Organization for Standardisation.
- ISO, 2021B. ISO 14044:2021. Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines. International Organization for Standardisation.
- JENSEN, J.K., ARLBJØRN, J.S. (2014). Product carbon footprint of rye bread. *Journal of cleaner production*, 82, 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.061>.
- KULAK, M., NEMECEK, T., FROSSARD, E., CHABLE, V., GAILLARD, G. (2015). Life cycle assessment of bread from several alternative food networks in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 90, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.060>.
- NOTARNICOLA, B., SALA, S., ANTON, A., MCLAREN, S.J., SAOUTER, E., SONESSON, U. (2017a). The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*, 140:399-409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.071>.
- NOTARNICOLA, B., TASSIELLI, G., RENZULLI, P.A., MONFORTI, F. (2017b). Energy flows and greenhouse gases of EU (European Union) national breads using an LCA (Life Cycle Assessment) approach. *Journal of cleaner production*, 140, 455-469. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.150>.

- NOTARNICOLA, B., TASSIELLI, G., RENZULLI, P.A., DI CAPUA, R., ASTUTO, F., FALCONE, G., MONDELLO, G., GULOTTA, T.M., CASOLANI, N., D'EUSANIO, M. (2022a). Quantificazione delle emissioni dei metalli pesanti nei dataset agricoli di ILCIDAF attraverso il modello SALCA – heavy metals applicato al suolo italiano. Atti del XVI Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA – La sostenibilità nel contesto del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza: il contributo della Life Cycle Assessment. Associazione Rete Italiana LCA. Palermo, 22-24 giugno, p. 478-485.
- NOTARNICOLA, B., TASSIELLI, G., RENZULLI, P.A., DI CAPUA, R., SAIJA, G., SALOMONE, R., PRIMERANO, P., PETTI, L., RAGGI, A., CASOLANI, N., STRANO, A., MISTRETTA, M. (2022b). Life cycle inventory data for the Italian agri-food sector: Background, sources and methodological aspects. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1-16.
- NOTARNICOLA, B., RENZULLI, P.A., ASTUTO, F., DI CAPUA, R., SPIZZIRRI U.G., LEO, R. (2023). Il Progetto ILCIDAF per lo sviluppo di un Database italiano di Life Cycle Inventory dei prodotti agroalimentari italiani: la fase di produzione della pasta. Atti del XVII Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA – Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA 30 anni di Life Cycle Assessment: sviluppi metodologici e applicativi. Associazione Rete Italiana LCA. Milano, 28-30 giugno (in corso di pubblicazione).
- SVANES, E., OESTERGAARD, S., HANSSEN, O.J. (2018). Effects of packaging and food waste prevention by consumers on the environmental impact of production and consumption of bread in Norway. *Sustainability*, 11(1), 43. <https://doi.org/10.3390/su11010043>.

Il settore vitivinicolo tra innovazione e sostenibilità: una mappatura dello stato della ricerca

Maria Giovina Pasca
Università degli Studi Niccolò Cusano
Giulia Padovani
Università degli Studi Niccolò Cusano

ABSTRACT

La ricerca mira a identificare i fattori che stimolano l'adozione di pratiche sostenibili e innovative nel settore vitivinicolo. Lo studio fotografa, attraverso una revisione sistematica della letteratura, lo stato dell'arte del settore vitivinicolo considerando le pratiche di sostenibilità e innovazione che sono state implementate nel tempo per fornire suggerimenti per la ricerca futura e per le organizzazioni del settore. Lo studio sviluppa una revisione sistematica della letteratura condotta sul database Scopus a Settembre 2023. Sono stati rilevati un totale di 115 articoli in lingua inglese tra il 2011 e il 2023 e 41 full-text sono stati rivisti seguendo i criteri di inclusione. Gli autori hanno analizzato le caratteristiche bibliometriche e, tramite un'analisi del contenuto sono stati classificati gli articoli in specifici temi chiave. Per ogni tema, i ricercatori hanno analizzato i risultati principali e riassunto le lacune della ricerca rilevando potenziali implicazioni per la letteratura. I risultati hanno evidenziato come le aziende con strumenti di marketing innovativi sembrano avere un approccio più eco-compatibile. L'analisi mette in luce l'importanza di adottare strumenti di comunicazione per poter coinvolgere gli stakeholder e diffondere le proprie strategie sostenibili e innovative. Inoltre, le collaborazioni all'interno della filiera e le partnership con i concorrenti accelerano l'adozione di innovazioni green. Le strategie di sostenibilità aiutano a migliorare la competitività delle imprese mentre l'innovazione è associata alla riduzione dell'impronta ecologica. I consumatori sono sempre più orientati ad adottare stili di vita sostenibili e questo si riflette nelle loro scelte di consumo.

KEYWORDS: settore vitivinicolo, vino, sostenibilità, innovazione, revisione sistematica della letteratura.

1 Introduzione

Il sistema agroalimentare ha risentito degli effetti della crisi sanitaria Covid-19, registrando cambiamenti nei sistemi di produzione, commercio

e distribuzione. L'attenzione dei ricercatori e dell'opinione pubblica è sempre più focalizzata sui temi qualitativi e ambientali dei prodotti alimentari (Fiore et al., 2017). Alla luce di ciò, è fondamentale intraprendere una ricerca per analizzare le strategie sostenibili e innovative del settore vitivinicolo, un settore economico strategico del comportamento agroalimentare (Christ e Burritt, 2013).

La crescente sensibilità per la sostenibilità e l'innovazione ha portato alla proliferazione di iniziative nel settore del vino. I consumatori si aspettano che le aziende siano socialmente responsabili.

Queste iniziative gestiscono gli aspetti ambientali, sociali ed economici della produzione vinicola (Gilinsky et al., 2016). In linea con gli obiettivi 12 e 13 dell'Agenda 2030, il settore vitivinicolo dovrà ridurre costantemente l'impronta di carbonio della propria produzione. Tuttavia, questi sforzi non saranno sufficienti per eliminare completamente il cambiamento climatico e quindi la viticoltura dovrà adattarsi gradualmente alle nuove condizioni climatiche e ambientali.

Non emergono ricerche che mappano lo stato dell'arte del settore vitivinicolo sui fattori che stimolano l'adozione di pratiche sostenibili e innovative e le conseguenze che queste pratiche generano. Inoltre, la letteratura evidenzia la necessità di identificare quali pratiche sostenibili e innovative creano valore al fine di ottimizzare il settore (Dogru e Peyrefitte, 2022).

Pertanto, lo studio si propone di approfondire la seguente domanda di ricerca:

- Quali sono le sfide, le opportunità e gli effetti che emergono dall'integrazione della sostenibilità e dell'innovazione nel settore vitivinicolo?

La ricerca mira ad analizzare i principali risultati proposti negli studi esaminati, identificare le lacune della ricerca e fornire future opportunità di ricerca per professionisti e accademici. Gli autori hanno adottato una metodologia di revisione sistematica della letteratura (SLR) per trasparenza, ripetibilità e rigore di sintesi per concettualizzare lo stato attuale delle conoscenze. Lo studio fornisce a responsabili politici, aziende e ricercatori approfondimenti per promuovere l'adozione di pratiche sostenibili e innovative nel settore vitivinicolo.

Il contributo è organizzato come segue: La sezione 2 descrive la metodologia di ricerca adottata. I risultati sono discussi nella Sezione 3. La Sezione 4 presenta una discussione sui principali risultati emersi dallo studio. La sezione 5 conclude il lavoro ed esamina i limiti della nostra revisione e della ricerca futura.

2 Metodologia

Lo studio ha adottato una metodologia di revisione sistematica, un processo strutturato, robusto, ripetibile e trasparente (Tranfield et al., 2003) per identificare e sintetizzare i risultati della ricerca (Popay et al., 2006). Questa metodologia è utile per diffondere lo stato dell'arte delle conoscenze attuali di un determinato settore (Tranfield et al., 2003) e per identificare possibili lacune e direzioni per la ricerca futura. La metodologia, si presenta come uno strumento in grado di fornire linee guida per le future raccomandazioni di ricerca e per la pratica (Briner and Denyer, 2012).

La SLR è strutturata in tre fasi principali: 1. Pianificazione della revisione; 2. Conduzione della revisione; 3. Relazioni e diffusione dei risultati (Tranfield et al., 2003).

Lo studio si propone di comprendere lo stato dell'arte del settore vitivinicolo per inquadrare e definire le pratiche di sostenibilità e innovazione che sono state implementate nel tempo per fornire alle organizzazioni di settore dei suggerimenti operativi e per delineare suggerimenti per la ricerca futura.

La ricerca della letteratura è stata condotta nel database Scopus a Settembre 2023. Per garantire che la procedura fosse chiara, robusta e ripetibile, minimizzando la duplicazione e la sovrapposizione, gli autori hanno condotto le loro ricerche su un unico database (Parè et al., 2015). Il database Scopus comprende le pubblicazioni più rilevanti per il nostro campo di ricerca, oltre ad indicizzare i contenuti di tutti gli altri database con contenuti eventualmente pertinenti (ad esempio, ACM, IEEE, Springer, AIS Electronic Library, e DBCP Computer Science Bibliography). Serve come motore di ricerca per altri database, restituendo il maggior numero di risultati, offrendo capacità di ricerca più complete rispetto ad altri database e concentrandosi in particolare sulle informazioni delle scienze sociali (Yang et al., 2017).

Gli autori hanno utilizzato la seguente query di ricerca: (TITLE-ABS-KEY) *viticulture OR wine OR "wine sector" AND innovation AND sustainability*

È stato ottenuto un output iniziale di 115 record.

Per identificare il corpo finale dell'analisi, sono stati stabiliti i criteri di inclusione (Moher et al., 2009). I seguenti criteri di inclusione iniziali sugli attributi delle pubblicazioni sono stati stabiliti in conformità con le linee guida di Pickering and Byrne (2014) e Moher's et al. (2009):

- (1) Includere articoli, conferenze, capitoli di libri e revisioni,
- (2) Prendere in considerazione ricerche scritte in inglese,
- (3) Includere articoli nella fase finale di pubblicazione;

(4) La ricerca non ha limiti di tempo.

Per quanto riguarda le caratteristiche degli studi identificati, sono stati utilizzati i seguenti criteri di inclusione:

1. I documenti devono essere incentrati principalmente sulle pratiche di sostenibilità e innovazione adottate dal settore vinicolo.
2. Il testo integrale degli articoli deve essere accessibile e deve essere già pubblicato.
3. Studi che si concentrano sui temi della sostenibilità e dell'innovazione da una prospettiva manageriale. Sono stati esclusi documenti tecnici e ingegneristici.

I ricercatori si sono concentrati sull'analisi di studi che si occupano principalmente di temi della sostenibilità e dell'innovazione nel settore vinicolo, da una prospettiva manageriale. Due ricercatori hanno lavorato simultaneamente a questa valutazione esaminando i titoli, gli abstract e le parole chiave di ogni voce nel foglio di calcolo (Flstad e Kvale, 2018). Gli output sono stati poi confrontati e di conseguenza è stato creato un foglio di calcolo filtrato.

Dall'analisi sono stati eliminati 61 poiché non inerenti ai criteri più rigorosi. Inoltre, gli autori non hanno considerato ulteriori 7 studi in quanto non attinenti al tema della sostenibilità e dell'innovazione nel settore vinicolo e 6 studi sono stati esclusi in quanto non era disponibile il testo integrale. L'analisi finale ha individuato 41 full-text.

Gli studi esaminati sono stati analizzati in modo da fornire le caratteristiche bibliometriche e identificare i temi principali nel settore vitivinicolo. Per estrarre, sintetizzare e analizzare i risultati degli studi, è stato utilizzato il software MAXQDA11 per effettuare la content analysis, come strumento per identificare i temi chiave, i principali risultati e le prospettive di ricerca future ricorrenti nelle ricerche identificate.

3 Risultati

3.1 Risultati bibliometrici

Dall'analisi si evince che vi è stata una maggiore pubblicazione nel 2020 con 12 documenti pubblicati; 8 documenti nel 2021; 4 documenti nel 2018 e 2017 e 2013; 3 documenti nel 2019 e nel 2022; 2 documenti nel 2011 e 1 nel 2016.

Il numero totale di documenti analizzati equivale a 41, di cui 39 articoli e 2 conference papers.

La ricerca evidenzia che l'approccio di studio più utilizzato è stato il metodo quantitativo con il 38% (19 documenti), seguito dal metodo qualitativo con il 11 documenti, con 10 documenti l'approccio misto

(quali-quantitativo) e infine, una revisione sistematica della letteratura con un solo documento.

In ultima analisi, si evidenzia come l'Italia sia la nazione con un maggiore numero di studi (14) più una ricerca condotta con la Francia, che a sua volta ha condotto 4 studi più una collaborazione con la Spagna e questa, ulteriori 2. La Nuova Zelanda e la Germania hanno condotto entrambe 3 analisi. La Svizzera 2 e l'Australia 2 e in uno ha incluso i Paesi Africani (Nigeria e Angola), i Paesi emergenti (Ungheria e Brasile) e infine il Sud-Est Asiatico con India e Vietnam.

3.2 Temi indentificati

Il settore vinicolo italiano si trova al centro di approfondite ricerche che collegano la sostenibilità alle dinamiche aziendali, pratiche di produzione e impatti economici. I diversi studi analizzati hanno contribuito a delineare un quadro completo delle sfide e opportunità che emergono dall'integrazione della sostenibilità e dell'innovazione nelle attività vinicole.

Dall'analisi delle diverse ricerche di settore, emergono tre temi chiave che riflettono le tendenze e le sfide affrontate nel settore.

1. L'adozione di pratiche sostenibili come driver di cambiamento e competitività:

Lo studio di Annunziata, Pucci, Frey, e Zanni (2018) indaga il legame tra capacità organizzative, pratiche di sostenibilità aziendale e performance economica nelle aziende vinicole italiane, con un approccio basato sulla prospettiva dinamica delle risorse. Le tre capacità organizzative in esame sono la collaborazione con i partner-fornitori, l'adozione di tecnologie avanzate e l'innovazione di prodotto. I risultati evidenziano che: la collaborazione con i fornitori e l'innovazione del prodotto favoriscono la pratica di sostenibilità aziendale e influenzano positivamente le performance economiche. Le pratiche socio-ambientali proattive svolgono un ruolo mediatore, connettendo le capacità organizzative all'implementazione della sostenibilità e alle performance economiche.

Nel settore si evidenzia come le strategie di marketing verde risultino l'elemento cruciale per migliorare le prestazioni organizzative delle aziende vinicole siciliane al fine di creare un impatto positivo sulla loro competitività (Bellia e Pilato, 2013). Fiore, Silvestri, Contò e Pellegrini hanno individuato un aumento dell'interesse dei consumatori per l'orientamento al verde e di fatto i produttori di vino hanno implementato pratiche più sostenibili. La ricerca ha dimostrato che vi è una correlazione tra le tecnologie innovative e l'orientamento alla sostenibilità e che il comunicare il rispetto ambientale al mercato possa conferire e mantenere un vantaggio competitivo per le aziende. Gli autori suggeriscono inoltre di includere ul-

teriori dati per restituire allo studio una maggior completezza e robustezza.

Le aziende familiari mostrano performance economiche migliori, con un impegno evidente negli investimenti in progetti di sostenibilità. Tuttavia, l'integrazione completa della sostenibilità nei business model delle imprese non risulta essere ancora completa. Si fa riferimento alla necessità di ulteriori ricerche per sviluppare framework precisi per business model sostenibili e per una comprensione approfondita del ruolo della sostenibilità nei modelli di business nel settore vinicolo italiano (Broccardo e Zicari, 2020).

Nella ricerca di Cantino, Giacosa e Cortese (2022) si analizza il ruolo della sostenibilità nella creazione di valore per un bene comune: il caso di studio la cantina Fontanafredda. La cantina ha internalizzato il concetto di bene comune, contribuendo al vantaggio competitivo e alla differenziazione, inoltre, grazie alla conservazione dei valori tradizionali come il rispetto e la valorizzazione del territorio, acquista un vantaggio competitivo e di differenziazione rispetto le altre cantine vinicole italiane. Gli autori evidenziano come l'approccio sostenibile rappresenti un driver per l'innovazione della produzione del vino e che la sostenibilità contribuisca a migliorare il valore delle aziende vinicole del territorio.

Le ricerche future devono comprendere meglio la resilienza imprenditoriale, specialmente considerando la concentrazione e l'espulsione delle PMI in tutte le industrie (De Steur, Temmerman, Gellynck e Canavari, 2020).

L'ambizione, identificata come un elemento chiave per il successo, e l'innovazione (interna e orientata al cliente), vengono considerate fondamentali per il miglioramento delle prestazioni. Infine, la crescita sostenibile può essere supportata e implementata attraverso idee innovative e strategie imprenditoriali ben definite (Dressler, 2020).

Nel 2021, Dressler e Paunovic, hanno esaminato l'impatto di diverse estensioni del modello di business delle cantine (ospitalità e turismo, piattaforme di vendita online e sostenibilità) sulle dimensioni del loro core business. Grazie all'approccio metodologico scelto (sondaggi online, analisi dei contenuti e netnography e modelli SEM) gli autori hanno rilevato che le estensioni relative alle piattaforme di vendita online hanno un impatto positivo e significativo sulle dimensioni aziendali delle cantine, contribuendo all'allargamento del modello di business in termini di dimensioni e tipologia; nello specifico: le piattaforme di vendita online hanno un impatto positivo, l'ospitalità e il turismo non hanno avuto impatti e la sostenibilità invece, ha avuto effetti leggermente negativi ma non statisticamente significativi. Ulteriori approfondimenti potrebbero indagare gli effetti collaterali delle estensioni su altri aspetti centrali del modello di business.

Dressler e Paunovic (2020) analizzano la tipologia di modelli di business sostenibili nel settore food & beverage (F&B), con un focus sulle

cantine tedesche profilandone la competitività mediante la sostenibilità. Attraverso l'analisi dei componenti principali (APC), sono stati individuati sette modelli di business strategici distinti in termini di sostenibilità; nello specifico: tre modelli con un approccio avanzato alla sostenibilità; due modelli caratterizzati da una gestione focalizzata su opportunità sociali e innovazione e gli ultimi due con un approccio amministrativo ai requisiti sociali e ambientali. Gli autori propongono di arricchire i modelli con approfondimenti basati su casi studio o comparazioni qualitative.

L'implementazione di strategie di impronta di carbonio (CFS) nel settore vinicolo italiano porta a significativi vantaggi competitivi, inclusi miglioramenti nell'immagine, nella reputazione e nella fedeltà dei clienti, nonché l'ingresso in nuovi mercati esteri; emergono anche risorse e strategie uniche per il perseguimento delle prestazioni aziendali sostenibili. Nel contesto di continui cambiamenti climatici le strategie di marketing sostenibile (tramite il CFS) possono migliorare la competitività aziendale e raggiungere gli obiettivi ambientali.

L'articolo di García-Cortijo, Ferrer, Castillo-Valero e Pinilla (2021) ha identificato le risorse aziendali che influenzano le decisioni sulle politiche di sostenibilità attraverso un'analisi empirica. Si riscontra che le risorse di marketing giocano un ruolo chiave in tutte le politiche di sostenibilità; che l'innovazione è positivamente correlata alla riduzione dell'impronta di carbonio e alla Corporate Social Responsibility (CSR) e che le risorse tecnologiche e finanziarie non sono significative, tranne che per la CSR. Gli autori consigliano ulteriori ricerche per approfondire il ruolo delle risorse finanziarie nelle politiche di sostenibilità.

Karagiannis e Metaxas (2020) esamina il legame tra turismo e sostenibilità nelle aziende vinicole della regione del Peloponneso (Grecia). Emerge come il 48% utilizza metodi biologici, mentre il 15% produce vini biologici o naturali; circa il 44% è certificato per pratiche sostenibili. Si riscontra anche che le cantine più antiche sono meno efficienti in termini di sostenibilità e che le reti di turismo del vino sono cruciali per lo sviluppo regionale, ma la partecipazione è limitata. Gli autori suggeriscono l'approfondimento delle certificazioni sulla percezione della qualità e del marchio.

Il modello di business dell'azienda è un esempio di innovazione strategica centrata sul cliente, con una strategia competitiva basata sulle relazioni strette con i clienti e sulla qualità del prodotto. E' possibile implementare innovazioni sostenibili di successo senza necessariamente coinvolgere la trasformazione digitale (Lopez-Nicolas et al., 2021).

La revisione della letteratura evidenzia tre fattori cruciali per l'adozione di pratiche sostenibili: dal lato dell'offerta (competitività, innovazione, sviluppo territoriale) e due dal lato della domanda (consapevolezza, riconoscimento). La sostenibilità viene vista come un'influenza positiva sulla

competitività e sull'innovazione oltre a denotarsi come strumento di sviluppo territoriale. Gli autori sottolineano l'importanza crescente della sostenibilità per le aziende del turismo del vino, evidenziando il suo impatto positivo sulla competitività, sull'innovazione e sullo sviluppo territoriale. Gli autori consigliano un approfondimento tramite uno studio comparativo sulle pratiche sostenibili implementate da aziende enoturistiche in paesi in cui questo settore è in crescita (Nave et al., 2021).

Ouvrard, Jasimuddin e Spiga (2020) indagano circa l'interesse dei proprietari e manager delle aziende vinicole per le questioni di sostenibilità ambientale nel loro modello di business. Lo studio rileva che la sostenibilità risulta essere una questione importante nelle aziende vinicole poiché contribuisce a modellare il modello di business. L'articolo sottolinea l'importanza crescente delle questioni sociali e ambientali nell'industria del vino e come queste tematiche siano riflesse nei modelli di business delle aziende vinicole. Si suggerisce un'espansione dello studio in altre economie volte allo sviluppo di un quadro di riferimento più robusto al fine di restituire approfondimenti utili ai diversi modelli di business.

La ricerca di Perretti (2020) analizza le performance economiche e la sostenibilità a lungo termine della produzione vinicola di qualità nel Distretto del Vulture. L'analisi mira a valutare l'attuale redditività finanziaria delle microaziende vinicole e l'impatto delle innovazioni di processo e degli adeguamenti strutturali; infatti, i risultati indicano che la maggior parte delle aziende vitivinicole analizzate sta attualmente producendo con rendimenti negativi sull'investimento, poiché la struttura aziendale è frammentata e i costi di manodopera sono troppo elevati. La ricerca evidenzia come siano necessari adeguamenti strutturali nel settore viticolo per garantire la sostenibilità a lungo termine delle aziende. Gli autori suggeriscono l'esplorazione di ulteriori innovazioni di processo utili a migliorare la sostenibilità economica delle aziende.

Ratten (2018) esplora il ruolo dell'eco-innovazione nella competitività della regione vinicola della Barossa Valley in Australia, per comprendere come questa insieme ai cluster vinicoli regionali influenzino le performance internazionali delle aziende vinicole. L'autore attraverso la scelta metodologica di un approccio qualitativo intende ottenere una comprensione approfondita dei legami tra eco-innovazione, cluster vinicoli e performance aziendali. Lo studio indica che sia l'eco-innovazione che i cluster vinicoli regionali contribuiscono a una migliore performance internazionale delle aziende vinicole e che vi è un riconoscimento dell'importanza delle questioni ambientali nell'industria del vino a livello globale. La ricerca suggerisce di esaminare ulteriormente il legame tra dimensioni specifiche dell'eco-innovazione e la loro influenza sulla competitività internazionale.

L'analisi di Richter e Hanf (2021) propone di esaminare l'applica-

zione di pratiche di gestione sostenibile e digitalizzazione nelle cooperative vinicole, con un focus sulle strategie di gestione e sulle decisioni aziendali. Nella ricerca emergono una varietà di approcci e livelli di implementazione di pratiche sostenibili e digitali nelle cooperative vinicole tedesche. Risultano inoltre notevoli differenze tra le cooperative, specialmente in termini di dimensioni e risorse disponibili per la digitalizzazione. L'autore sottolinea l'importanza della sostenibilità e della digitalizzazione nelle strategie di gestione delle cooperative vinicole e suggerisce ulteriori studi per l'estensione del campione di studio delle cooperative agricole, al fine di comparare i risultati.

Spielmann (2017) esamina come le caratteristiche aziendali, in particolare la dimensione della cantina e gli investimenti esteri diretti, possano influenzare gli atteggiamenti e le pratiche di sostenibilità ambientale nelle cantine vinicole in Francia; le cantine grandi sono più propense a impegnarsi nelle pratiche di sostenibilità; infatti, esse vedono la sostenibilità anche come una strategia di posizionamento per ottenere vantaggi competitivi in termini di qualità del prodotto e percezione dell'innovazione. L'autore suggerisce la necessità di ulteriori ricerche per esplorare i fattori motivanti e demotivanti in merito alla sostenibilità ambientale nell'industria vinicola.

2. Gli effetti dell'adozione di pratiche sostenibili e innovative:

Nel secondo cluster, si mettono in risalto le principali evidenze degli studi in merito all'adozione delle pratiche sostenibili e innovative nel settore.

Grazie allo studio di Chaminade e Randelli (2020) si contribuisce alla comprensione delle dinamiche che favoriscono le trasformazioni sostenibili; infatti, nell'articolo si esplora la rapida trasformazione dalla produzione vinicola tradizionale a quella biologica, concentrandosi sul ruolo degli ecosistemi di innovazione territorialmente radicati (TEIE) che facilitano la trasformazione sostenibile. Le evidenze mostrano che le condizioni strutturali specifiche del luogo e le diverse forme di agenzia influenzano significativamente la velocità e la direzione della trasformazione; e che la leadership locale è considerata un contributo significativo all'accelerazione della trasformazione. Gli studiosi suggeriscono ricerche future che esplorino il ruolo degli ecosistemi di innovazione territorialmente radicati in altri contesti con un ulteriore approfondimento delle dinamiche che guidano la trasformazione sostenibile.

Dodds, Graci, Ko e Walker (2013) hanno esaminato le iniziative di sostenibilità adottate dalle cantine neozelandesi, al fine di comprendere cosa spingesse l'industria del vino a impegnarsi in pratiche sostenibili e a identificare le barriere all'implementazione di tali pratiche. Cercando di

fornire un quadro completo delle dinamiche della sostenibilità ambientale nel settore viticolo della Nuova Zelanda, gli autori hanno riscontrato una preoccupazione per lo stato dell'ambiente e delle responsabilità sociale, una mancanza di conoscenze e di orientamenti inerenti a voci di costo, carenze nelle pratiche di gestione di rifiuti, ma anche una maggiore attenzione alla gestione dell'acqua. Per le ricerche future, gli autori hanno consigliato un'analisi approfondita circa la sostenibilità dell'intera organizzazione dei Viticoltori neozelandesi.

Forbes, Cullen e Grout (2013) si concentrano sul Greening Waipara Project in Nuova Zelanda, un progetto volto all'introduzione di pratiche ecologiche nei vigneti di Waipara e nelle cantine di North Canterbury.

Lo studio valuta l'adozione di innovazioni ambientali proposte dal progetto e esamina la sostenibilità di tali pratiche in termini di costi e benefici aziendali. Si è evinto che l'adozione delle innovazioni ambientali è bassa e varia tra le diverse proprietà viticole e che innovazioni adottate hanno benefici limitati in termini economici, di marketing e operativi.

Nel 2011 Frederking ha confrontato le pratiche di sostenibilità nelle industrie vinicole dell'Oregon e della Columbia Britannica, prendendo in considerazione le differenze tra un approccio di "nicchia verde" guidato dalla cooperazione e dall'innovazione e un modello governativo più uniforme. Grazie all'approccio comparativo sono state individuate le differenze nei modelli di sostenibilità: l'Oregon adotta un approccio di "nicchia verde" incentrato sulla cooperazione e l'innovazione, mentre la Columbia Britannica segue un modello governativo più uniforme. La ricerca ha evidenziato come le imprese vitivinicole affrontano l'adozione di pratiche sostenibili e che vi sono approcci differenti in base alle influenze dei contesti regionali. Le ricerche future dovrebbero esplorare l'evoluzione del mercato dei vini sostenibili nel tempo e confrontare le dinamiche di sostenibilità delle diverse regioni per comprendere al meglio gli approcci imprenditoriali.

Lo studio di Lanfranchi, De Pascale e Giannetto (2019) esamina la propensione all'innovazione delle aziende vinicole nella Valle del Mela (Sicilia) al fine valutare il grado di conoscenza degli imprenditori agricoli sulle ultime innovazioni nel settore viticolo. Tra le evidenze si riscontra la ricerca di strategie innovative è incoraggiata perché strumento utile per la competizione e che si di fronte alla consapevolezza crescente dell'importanza dell'innovazione e delle sfide ad essa associate.

Lo studio di Malindretos, Tsiboukas e Argyropoulou-Konstantaki (2016) esamina la sostenibilità nella catena di approvvigionamento del vino, concentrandosi sulla gestione dei rifiuti vinicoli e l'opportunità di avviare una nuova impresa che sfrutti questi rifiuti per la produzione di polifenoli. Grazie a un approccio empirico qualitativo, gli autori hanno assunto e proposto la creazione di start-up che utilizzino i rifiuti delle cantine per la pro-

duzione di polifenoli, così da orientare sostenibilmente la catena di approvvigionamento del vino. Gli autori sottolineano inoltre che la responsabilità sociale promuove le pratiche sostenibili nell'industria vinicola.

Menegotto, Pereira e Fernandes (2017) identificano il processo di innovazione sociale nella catena del vino brasiliana. Gli autori si concentrano sulle strategie collettive e sulla cooperazione tra le organizzazioni come risposta ai cambiamenti nel contesto imprenditoriale. La catena del vino brasiliana realizza innovazioni sociali incentrate sul benessere degli stakeholder e sulla sostenibilità del settore e che emergono tre tipi complementari di innovazione (aziendale, bifocale e sociale). Per approfondire la conoscenza delle innovazioni sociali nella catena del vino occorre considerare reti, associazioni e cooperative nelle esportazioni di vino e nelle industrie correlate.

Merli, Preziosi e Acampora (2018) esaminano l'esperienza della sostenibilità nel settore vinicolo con l'obiettivo di sviluppare un sistema internazionale di indicatori. Dall'analisi dettagliata dei programmi di sostenibilità si riscontra l'eterogeneità dei programmi esaminati, ognuno con punti di forza e debolezza distinti; la convergenza verso un approccio comune per la promozione della sostenibilità nel settore vinicolo. La varietà nei programmi di sostenibilità non solo fornisce occasioni di apprendimento reciproco, ma anche costituisce una sfida nella definizione di un approccio comune.

Lo studio condotto da Navarro et al (2017) evidenzia il ruolo chiave dell'impronta di carbonio e fornendo i dati ottenuti da 18 cantine in Spagna e nel sud della Francia. Attraverso il metodo di Corporate Carbon Footprint (CCF) si dimostra come la cantina sia la principale a contribuire all'impronta di carbonio aziendale, con la produzione di vetro per l'imbottigliamento e il consumo di energia elettrica come fattori chiave. Nel contesto vitivinicolo, le emissioni sono significativamente influenzate dalla produzione di gasolio e dall'uso di prodotti fitosanitari. Le ricerche future potrebbero abbracciare metodologie più ampie, combinando analisi dei processi con valutazioni del ciclo di vita per una comprensione più ricca del contesto e dei fattori qualitativi

Nazzaroi, Stanco, Uliano, Lerro e Marotta (2021) esplorano il ruolo delle innovazioni collettive intelligenti e dei modelli di governance aziendale nella transizione sostenibile delle cantine vitivinicole italiane. I risultati hanno dimostrato che l'innovazione collettiva ha generato impatti positivi in termini di economie interne, come l'aumento delle vendite e la riduzione dei costi, e di economie sociali esterne, come lo sviluppo locale e la protezione ambientale.

Lo studio di Obi, Vergamini, Bartolini e Brunori (2020) ha esplorato le percezioni dei produttori di vino riguardo ai driver esterni di cam-

biamenti nelle attività agricole e come tali cambiamenti possano influenzare l'adozione di pratiche sostenibili. Dall'analisi si è ricavato che tra le forze di mercato i viticoltori percepivano l'accesso al credito come una significativa associazione positiva con le pratiche di sostenibilità; infatti, la disponibilità di credito è stata correlata positivamente all'adozione di pratiche sostenibili. Grazie all'accesso di credito i produttori hanno potuto abbracciare pratiche sostenibili, ciò sottolinea come la presenza di iniziative e politiche, che facilitano l'accesso al credito per i viticoltori, incoraggiano la transizione verso la sostenibilità.

Osland e Zhou (2013) si concentrano sull'esecuzione della sostenibilità nella gestione della supply chain, identificando la necessità di una leadership efficace per l'attuazione della pratica. Lo studio evidenzia il ruolo chiave della leadership e della collaborazione con consulenti esterni, che facilitano l'attuazione delle pratiche sostenibili.

Pucci, Casprini, Galati e Zanni (2020) si concentrano sull'importanza dell'impegno degli stakeholder nella creazione di valore attraverso la sostenibilità. Attraverso un caso studio longitudinale della cantina Salcheto in Toscana, il documento esplora come l'azienda coinvolga le parti interessate nello sviluppo dell'innovazione e nella creazione di valore sostenibile. Grazie al coinvolgimento degli stakeholder, l'azienda ha affrontato tre sfide principali (creazione di identità, legittimazione, valorizzazione). La creazione di una cultura aziendale ha apportato benefici a livello aziendale, ha consolidato la legittimità dell'azienda e ha contribuito al contesto locale. Il documento oltre a sottolineare l'importanza dell'interazione con gli stakeholder per le aziende che desiderano sviluppare un approccio sostenibile, suggerisce che le ricerche future potrebbero esplorare ulteriormente il coinvolgimento degli stakeholder e la creazione di valore sostenibile in diverse industrie.

Nella ricerca di Stanco, Lerro e Marotta (2020) si esplorano le preferenze dei consumatori in merito ad alcune caratteristiche del vino (tradizione, sostenibilità e innovazione). I risultati dimostrano che i consumatori sono legati principalmente alla tradizione e alla sostenibilità, e che l'innovazione viene classificata come meno importante. Inoltre, le aziende di maggiori dimensioni mostrano una maggiore conformità alle pratiche ambientali e vengono identificate relazioni causali tra queste pratiche e gli esiti di marketing competitivi.

Tudisca, Sgroi e Testa (2011) affrontano il problema della diminuzione della superficie viticola e del conseguente esodo rurale. Nella ricerca si evince come la tutela ambientale e territoriale possano promuovere un'attività agricola competitiva e rispettosa delle tradizioni e che l'introduzione delle innovazioni di processo si configurano come un modo per affrontare le sfide legate alla diminuzione della superficie viticola e per contenere l'esodo rurale.

3. L'accettazione e l'applicazione di pratiche innovative:

Infine, nell'ultimo cluster identificato, gli autori affrontano l'accettazione e l'applicazione di pratiche innovative da parte dei consumatori (come le uve resistenti ai funghi) nel settore di riferimento.

Borrello, Cembalo e Vecchio (2021) hanno esaminato le preferenze dei consumatori per prodotti derivati da miglioramenti genetici eco-sostenibili in agricoltura, in particolare le uve resistenti ai funghi (FRG) nel contesto della produzione di vino. L'analisi considera due tecniche di produzione delle uve FRG: ibridazione orticola e modifica genetica. I consumatori preferiscono i vini FRG prodotti con ibridi orticoli rispetto ai vini convenzionali; lo studio sottolinea ulteriormente il ruolo cruciale delle informazioni nella promozione di innovazioni genetiche sostenibili nel settore vitivinicolo; infatti, informazioni negative riducono la WTP (disponibilità a pagare) per i vini FRG da ibridi orticoli, mentre le informazioni positive aumentano la WTP per quelli da ibridi modificati geneticamente. Gli autori suggeriscono nuove indagini sulle percezioni future dei prodotti FRG e l'esplorazione delle differenze tra paesi e regioni.

Pougnnet, Martin-Rios, Pasamar (2022) esplorano l'adozione della tecnologia del vino in fusto come un'innovazione di servizio per la sostenibilità nel settore del foodservice. L'adozione del vino in fusto viene vista come una soluzione attraente per le imprese, offrendo nuove proposte di valore e aumentando la consapevolezza ambientale. Lo studio dimostra come l'adozione del vino in fusto può contribuire a un cambiamento positivo verso la sostenibilità nella filiera del vino e nella ristorazione. Gli autori suggeriscono di esplorare ulteriormente le dinamiche delle collaborazioni inter-organizzative nella filiera del vino.

Lo studio di Rabadán e Bernabéu (2021) esplora l'eco innovazione nella produzione del vino dal punto di vista del consumatore, concentrandosi sulla neofobia alimentare e la consapevolezza ambientale. Per ottenere i risultati sono stati condotti sondaggi tramite interviste personali in diverse località di Madrid, coinvolgendo i consumatori di vino in Spagna. I risultati mostrano che i consumatori spagnoli di vino sono in generale più neofobici e si evidenzia una correlazione tra bassa neofobia alimentare, bassa neofobia del vino e bassa neofobia della tecnologia alimentare con un'alta consapevolezza ambientale. Al fine di capire al meglio questi concetti occorrerebbe indagare ulteriormente sulla correlazione tra neofobia alimentare e consapevolezza ambientale, poiché potrebbe cambiare fra contesti culturali diversi.

Lo studio di Vecchio et al. (2022) esplora l'accettazione da parte dei consumatori dei vini ottenuti da uve resistenti ai funghi (RFG), un'innovazione sostenibile che riduce la necessità di input chimici nella viticoltura. L'indagine coinvolge bevitori di vino in Italia, nel Regno Unito e negli Stati Uniti. L'accettazione generale è positiva, ma varia in base alle circo-

stanze di consumo e alle informazioni fornite. Sarebbero necessarie ulteriori ricerche per comprendere meglio l'impatto a lungo termine di queste innovazioni e identificare ulteriori aree di miglioramento.

Grander, Ferreira da Silva e Del Rosário Santibañez Gonzalez nel 2021 analizzano lo stato attuale della viticoltura attraverso l'analisi dei brevetti nel settore, concentrandosi su innovazioni relative all'agricoltura di precisione. Attraverso l'analisi dei dati per classificazioni IPC sono stati identificati due grandi gruppi di brevetti: soluzioni di processi e input e soluzioni di macchine e attrezzature. La Cina risulta essere il principale paese produttore di brevetti nel settore della viticoltura, confermando la leadership nel gruppo di soluzioni di macchine e attrezzature. Fra le evidenze si riscontra che l'analisi dei brevetti indica un aumento dell'innovazione nel settore viticolo, con una netta divisione tra soluzioni di processi e input e soluzioni di macchine e attrezzature.

4 Discussione dei risultati

L'analisi delle ricerche sull'industria vitivinicola evidenzia una correlazione tra dinamiche aziendali e sostenibilità e innovazione. Le evidenze emerse dagli studi delineano un quadro in cui le pratiche sostenibili si identificano come catalizzatrici di cambiamento e competitività. L'industria vinicola si sta aprendo a nuove frontiere guidate da consapevolezza ambientale e sociale. Le ricerche, infatti, concordano nell'indicare che le aziende vitivinicole orientate alla sostenibilità e all'innovazione non solo rispondono a normative e aspettative sociali, ma guadagnano anche vantaggi competitivi, sia in termini di reputazione che di efficienza operativa. Uno degli elementi chiave in questa analisi è il ruolo della sostenibilità nella catena di approvvigionamento. Diverse ricerche convergono nell'indicare che l'integrazione di pratiche sostenibili in questa fase critica è cruciale per garantire la longevità dell'industria vinicola. La sostenibilità, come dimostrato dallo studio di Nave, do Paço e Duarte (2021), non è solo una questione aziendale ma riflette una crescente domanda da parte dei consumatori. La consapevolezza ambientale e il riconoscimento delle pratiche sostenibili influenzano le decisioni di acquisto, aprendo un nuovo fronte competitivo per le aziende vinicole.

Infine, l'adozione di pratiche sostenibili coinvolge innovazioni sia tecnologiche che di processo.

5 Conclusioni, limiti e suggerimenti per le ricerche future

La ricerca evidenzia un quadro dinamico in cui la sostenibilità e l'innovazione emergono come leve strategiche fondamentali. I risultati del

nostro studio possono supportare i responsabili politici e le imprese nel promuovere il passaggio a questo nuovo modello economico incentrato sullo sviluppo sostenibile. Le aziende devono riorganizzare i processi seguendo i principi della sostenibilità ambientale, sociale ed economica, e quindi secondo un modello circolare capace di garantire a tutti il benessere e di tutelare l'ambiente e le risorse naturali.

I risultati complessivi sottolineano che, oltre a essere una scelta etica, l'adozione di pratiche sostenibili è cruciale per affrontare le sfide del settore.

L'analisi delle diverse prospettive rivela un consenso generale sulla centralità della sostenibilità nei modelli di business delle aziende vinicole; emerge chiaramente che l'impegno verso la sostenibilità non solo risponde a crescenti aspettative sociali ma può anche fungere da driver di competitività.

Tuttavia, lo studio evidenzia limitazioni nelle ricerche esaminate. Le analisi spesso si concentrano su specifiche regioni o paesi, rendendo necessario uno studio che integri un approccio più globale. Inoltre, l'integrazione tra metodologie qualitative e quantitative potrebbe fornire una visione più completa delle dinamiche aziendali.

Per orientare future linee di ricerca, occorrerebbe un approccio integrato che esplori le pratiche sostenibili in diverse realtà aziendali e contesti culturali, al fine di restituire una maggiore comprensione del settore vinicolo in una prospettiva complessiva. Un ulteriore suggerimento riguarda il coinvolgimento degli stakeholder. Le aziende vinicole che hanno attivamente coinvolto stakeholder esterni hanno dimostrato maggiori successi nella transizione verso la sostenibilità. Pertanto, studi che esaminano casi specifici di coinvolgimento degli stakeholder potrebbero fornire soluzioni preziose per le aziende che cercano di implementare cambiamenti significativi.

Nelle ricerche infine occorrerebbe maggiore attenzione alle implicazioni economiche delle pratiche sostenibili e come queste influenzano la redditività delle aziende.

La ricerca condotta ha alcuni limiti. Gli autori hanno considerato un unico database per garantire la qualità della ricerca in termini di rigore e pertinenza. Sebbene gli articoli siano stati rivisti sistematicamente, i ricercatori potrebbero aver perso alcuni studi che non rientravano nelle keywords di ricerca inclusi nella stringa di ricerca o in altri database. Ricerche future dovranno ampliare la ricerca su altri database e integrare altre parole chiave per avere una visione più completa del fenomeno oggetto di studio.

References

- ANNUNZIATA E., PUCCI T., FREY M., ZANNI L. (2018) The role of organizational capabilities in attaining corporate sustainability practices and economic performance: Evidence from Italian wine industry.
- BAIRD T., HALL C.M., CASTKA P. (2018) New Zealand Winegrowers attitudes and behaviours towards wine tourism and sustainable wine-growing.
- BELLIA C., PILATO M. (2013) Competitiveness of wine business within green economy.
- BORRELLO M., CEMBALO L., VECCHIO R. (2021) Role of information in consumers' preferences for eco-sustainable genetic improvements in plant breeding.
- BROCCARDO L., ZICARI A. (2020) Sustainability as a driver for value creation: A business model analysis of small and medium enterprises in the Italian wine sector.
- CANTINO V., GIACOSA E., CORTESE D. (2019) A sustainable perspective in wine production for common-good management: The case of Fontanafredda biological "reserve".
- CHAMINADE C., RANDELLI F. (2020) The role of territorially embedded innovation ecosystems accelerating sustainability transformations: A case study of the transformation to organic wine production in Tuscany (Italy).
- CHRIST, K.L., & BURRITT, R.L. (2017) Water management accounting: A framework for corporate practice. *Journal of Cleaner Production*, 152, 379-386.
- COOPER, H. (1989). Synthesis of research on homework. *Educational leadership*, 47(3), 85-91.
- DE STEUR H., TEMMERMAN H., GELLYNCK X., CANAVARI M. (2020) Drivers, adoption, and evaluation of sustainability practices in Italian wine SMEs.
- DODDS R., GRACI S., KO S., WALKER L. (2013) What drives environmental sustainability in the New Zealand wine industry?: An examination of driving factors and practices.
- DOGRU, A., & PEYREFITTE, J. (2022) Investigation of innovation in wine industry via meta-analysis. *Wine Business Journal*, 5(1), 44-76.
- DRESSLER M. (2020) The entrepreneurship power house of ambition and innovation: Exploring German wineries.
- DRESSLER M., PAUNOVIC I. (2021) Not all wine businesses are the same: Examining the impact of winery business model extensions on the size of its core business.

- DRESSLER M., PAUNOVIĆ I. (2020) Towards a conceptual framework for sustainable business models in the food and beverage industry: The case of German wineries.
- FIGLIORE M., SILVESTRI R., CONTÒ F., PELLEGRINI G. (2017) Understanding the relationship between green approach and marketing innovations tools in the wine sector.
- FØLSTAD, A., & KVALE, K. (2018) Customer journeys: a systematic literature review. *Journal of Service Theory and Practice*, 28(2), 196-227.
- FORBES S.L., CULLEN R., GROUT R. (2013) Adoption of environmental innovations: Analysis from the Waipara wine industry.
- FREDERKING L. (2011) Getting to green: Niche-driven or government-led entrepreneurship and sustainability in the wine industry.
- GALLETTO L., BARISAN L. (2019) Carbon footprint as a lever for sustained competitive strategy in developing a smart oenology: Evidence from an exploratory study in Italy.
- GARCÍA-CORTIJO M.C., FERRER J.R., CASTILLO-VALERO J.S., PINILLA V. (2021) The drivers of the sustainability of spanish wineries: Resources and capabilities.
- GILINSKY JR, A., NEWTON, S.K., & VEGA, R.F. (2016) Sustainability in the global wine industry: Concepts and cases. *Agriculture and agricultural science procedia*, 8, 37-49.
- GRANDER G., FERREIRA DA SILVA L., DEL ROSÁRIO SANTIBAÑEZ GONZALEZ E. (2021) Precision viticulture: The state of the art.
- KARAGIANNIS D., METAXAS T. (2020) Sustainable wine tourism development: Case studies from the Greek Region of Peloponnese.
- LANFRANCHI M., DE PASCALE A., GIANNETTO C. (2019) Innovations in agricultural enterprises: A study of small size wineries located in valle del mela, Sicily.
- LOCKSHIN L., CORSI A.M. (2020) Key research topics likely to generate Australian and other wine producer countries' support during the period 2020-2030.
- LÓPEZ-NICOLÁS C., RUIZ-NICOLÁS J., MATEO-ORTUÑO E. (2021) Towards sustainable innovative business models 2021.
- MALINDRETOS G., TSIBOUKAS K., ARGYROPOULOU-KONSTANTAKI S. (2016) Sustainable wine supply chain and entrepreneurship. The exploitation of by-products in a waste management process.
- MENEGOTTO M., PEREIRA E., FERNANDES (2017) A Social innovation in the brazilian wine chain: Co-creation of innovative ideas in processes, products and services in a multidisciplinary environment.
- MERLI R., PREZIOSI M., ACAMPORA A. (2018) Sustainability experiences in the wine sector: toward the development of an international indicators system.

- NAVARRO A., PUIG R., KILIÇ E., PENAVAYRE S., FULLANA-I-PALMER P. (2017) Eco-innovation and benchmarking of carbon footprint data for vineyards and wineries in Spain and France.
- NAVE A., DO PAÇO A., DUARTE P. (2021) A systematic literature review on sustainability in the wine tourism industry: insights and perspectives.
- NAZZARO C., STANCO M., ULIANO A., LERRO M., MAROTTA G. (2022) Collective smart innovations and corporate governance models in Italian wine cooperatives: the opportunities of the farm-to-fork strategy.
- OBI C., VERGAMINI D., BARTOLINI F., BRUNORI G. (2020) The Impact of Changes in Regulatory and Market Environment on Sustainability of Wine Producers: A Structural Equation Model.
- OSLAND A., ZHOU S. (2013) Sustainability in supply chain management how to execute the triple bottom line.
- OUVARD S., JASIMUDDIN S.M., SPIGA A. (2020) Does sustainability push to reshape business models? Evidence from the European wine industry.
- PARÉ, G., TRUDEL, M.C., JAANA, M., & KITSIOU, S. (2015) Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews. *Information & Management*, 52(2), 183-199.
- PERRETTI B. (2020) Economic sustainability of quality wine districts in the South of Italy. The case of Vulture.
- PICKERING, C., & BYRNE, J. (2014) The benefits of publishing systematic quantitative literature reviews for PhD candidates and other early-career researchers. *Higher Education Research & Development*, 33(3), 534-548.
- POPAY, J., ROBERTS, H., SOWDEN, A., PETTICREW, M., ARAI, L., RODGERS, M., ... & DUFFY, S. (2006) Guidance on the conduct of narrative synthesis in systematic reviews. A product from the ESRC methods programme Version, 1(1), b92.
- POUGNET S., MARTIN-RIOS C., PASAMAR S. (2022) Keg wine technology as a service innovation for sustainability in the foodservice industry.
- PUCCI T., CASPRINI E., GALATI A., ZANNI L. (2020) The virtuous cycle of stakeholder engagement in developing a sustainability culture: Salcheto winery.
- RABADÁN A., BERNABÉU R. (2021) An approach to eco-innovation in wine production from a consumer's perspective.
- RATTEN V. (2018) Eco-innovation and competitiveness in the Barossa Valley wine region.
- RICHTER B., HANF J.H. (2021) Cooperatives in the wine industry: Sustainable management practices and digitalisation.

- SPIELMANN N. (2017) Larger and better: Examining how winery size and foreign investments interact with sustainability attitudes and practices.
- STANCO M., LERRO M., MAROTTA G. (2020) Consumers' preferences for wine attributes: A best-worst scaling analysis.
- TRANFIELD, D., DENYER, D., & SMART, P. (2003) Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222.
- TUDISCA S., SGROI F., TESTA R. (2011) Competitiveness and sustainability of extreme viticulture in Pantelleria Island.
- VECCHIO R., POMARICI E., GIAMPIETRI E., BORRELLO M. (2022) Consumer acceptance of fungus-resistant grape wines: Evidence from Italy, the UK, and the USA.
- YANG, C.C., SIA, W.Y., TSENG, Y.C., & CHIU, J.C. (2018, November). Gamification of learning in tourism industry: a case study of Pokémon Go. In *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Education and E-Learning* (pp. 191-195).

Impatto della tostatura sulla composizione del caffè: valutazione della qualità attraverso specifici marcatori di prodotto e di processo

Vanessa Giannetti
Sapienza Università di Roma
Maurizio Boccacci Mariani
Sapienza Università di Roma
Mattia Rapa
Sapienza Università di Roma

ABSTRACT

Se da un lato, la pandemia da Covid-19 ha rappresentato un periodo difficile per il consumo di caffè fuori casa, dall'altro, ha favorito la diffusione di una nuova cultura del caffè caratterizzata dallo *specialty coffee*, un prodotto di qualità e più sostenibile da consumare anche a casa. Questa nuova sensibilità e consapevolezza del consumatore moderno ha stimolato i produttori a migliorare ed ampliare la propria offerta in termini di qualità e ha indirizzato gli studi scientifici nella ricerca e definizione di strumenti che aiutino a caratterizzare e valorizzare sia il prodotto che il processo. Per definire la qualità del caffè, infatti, non è più sufficiente la sola degustazione, ma occorre valutare ogni passaggio della filiera. Il caffè è una bevanda consumata in tutto il mondo e, indipendentemente dal metodo di preparazione utilizzato, la sua produzione prevede un trattamento termico (tostatura) che rappresenta una delle maggiori cause di cambiamento delle caratteristiche qualitative del prodotto finito. La tostatura, infatti, è responsabile della degradazione di composti aromatici e biologicamente attivi, ma anche della formazione di sostanze potenzialmente tossiche che incidono sulla qualità finale del caffè. L'impatto della tostatura può essere valutato attraverso l'analisi di specifici markers atti a definire la qualità complessiva del prodotto. Il presente studio mira a sostenere – attraverso lo sviluppo di procedure analitiche, l'identificazione di markers di processo/prodotto e la costruzione di modelli statistici – le sfide dell'industria del caffè per garantire la produzione e il consumo di prodotti di qualità attraverso la definizione di indicatori strumentalmente misurabili.

PAROLE CHIAVE: caffè; tostatura; profilo aromatico; markers di prodotto; markers di processo.

1 Introduzione

La nascita del caffè è attribuita ad un eremita islamico, al-Shadhili, che nel 1200 nello Yemen preparò la prima tazza di caffè, con chicchi pro-

venienti dall'Etiopia. Da quel momento l'uso del caffè come bevanda si è diffuso prima nelle regioni islamiche e poi in tutto il mondo. Ad oggi il settore del caffè conta più di 124 milioni di addetti e la sua storia compenetra le vicende culturali ed economiche di moltissimi Paesi. Quando si parla di caffè si fa riferimento ai frutti della pianta *Coffea*, che comprende più di 120 specie differenti. La cultivar che detiene il primato della produzione mondiale è la *Coffea arabica* (conosciuta come Arabica), che viene coltivata in decine di Paesi situati tra i due Tropici, seguita dalla *Coffea canephora*, conosciuta come Robusta (Massey, 2016).

Per quanto riguarda la qualità del prodotto finale (ossia il caffè in tazza) – oltre alle specificità della specie di partenza – tutte le fasi del processo produttivo contribuiscono in maniera più o meno significativa a conferire al prodotto determinate caratteristiche qualitative (Kulapichitr et al., 2019; Esquivel & Jiménez, 2012).

La raccolta delle ciliegie di caffè dalla pianta rappresenta il primo step del processo di produzione a decretare il livello qualitativo del caffè; essa, a seconda dell'altitudine della produzione, generalmente tra i 900 e i 2000 metri, può avvenire a macchina o a mano. I frutti caduti naturalmente dagli alberi spesso vengono raccolti per produrre caffè di qualità inferiore. Alla raccolta segue una fase di vagliatura che elimina i frutti non maturi o surmaturi, realizzata a mano o in vasche di galleggiamento. Segue la lavorazione dei chicchi che può avvenire con il “metodo a secco”, ossia adagiando le ciliegie di caffè su appositi *letti di essiccazione* – adeguatamente sollevati da terra per garantire la circolazione dell'aria e l'esposizione al sole per l'asciugatura; oppure con il “metodo lavato”, utilizzato per eliminare dal chicco anche lo strato zuccherino e mucillaginoso superficiale. Questo metodo, seppur più dispendioso dell'altro, assicura una migliore essiccazione contribuendo a garantire che il caffè conservi il suo valore. Successivamente, la buccia e la polpa vengono eliminate meccanicamente mediante una macchina spolpatrice e i chicchi proseguono in una vasca d'acqua dove gli ultimi residui di polpa sono eliminati per fermentazione. A questo punto anche il caffè lavato passa alla fase di essiccazione. Una volta essiccati, i chicchi verdi vengono sottoposti ad una fase di riposo, di decorticazione, di valutazione (dimensioni, colore, difetti) e di confezionamento pronti per l'esportazione (Folmer, 2017).

Dopo il processo di lavorazione delle ciliegie di caffè che, generalmente, avviene nel Paese di produzione, si passa alla trasformazione del chicco verde attraverso la tostatura (o torrefazione) che avviene nel Paese d'importazione del caffè, presumibilmente dove verrà successivamente consumato. La tostatura è una fase cruciale dell'intero processo produttivo in quanto rappresenta il momento in cui si genera la complessità e ricchezza di aromi che andranno poi a definire la qualità del prodotto finito. Sempli-

ficando, è possibile affermare che il tipo di tostatura è riconducibile al colore finale del chicco (chiaro o scuro) e al tempo necessario per ottenerla (lenta o veloce). Uno solo di questi due parametri non è sufficiente a definire le caratteristiche organolettiche del caffè in tazza. Infatti, un caffè “tostato chiaro” può aver subito una tostatura lenta o veloce che andrà a determinare un *flavour* notevolmente diverso nei due casi. Pertanto, i differenti parametri utilizzati per il processo di tostatura forniranno numerosi tipi differenti di caffè. Monitorando il processo di tostatura è possibile controllare tre componenti chiave del gusto del caffè: acidità, dolcezza e amarezza. Maggiore è il tempo di tostatura del caffè minore sarà il suo grado di acidità; mentre, l’amaro aumenta lentamente con il grado di tostatura rendendo il gusto più marcato e il caffè più scuro (Angeloni et al., 2021; “Caffeinated and Cocoa Based Beverages”, 2019).

Il processo di tostatura prevede una serie di fasi, e la velocità con cui il caffè subisce ogni singola fase determina il “profilo di tostatura”. La prima fase è quella dell’asciugatura che permette di ridurre l’umidità dei chicchi verdi (umidità iniziale tra 7-12%). Questa fase avviene a temperature tra i 90 e i 120°C e rappresenta un passaggio fondamentale per la successiva fase in quanto prepara i chicchi alle reazioni di imbrunimento. Eliminata la componente acquosa, i chicchi vengono gradualmente riscaldati a temperature più elevate (tra i 175 e i 205°C) e iniziano a verificarsi reazioni chimiche complesse, tra cui la caramellizzazione degli zuccheri, la reazione di Maillard e la degradazione di Strecker, che andranno ad influenzare il colore e il sapore del caffè. Questa fase prende il nome di ingiallimento. Durante la fase successiva, conosciuta come primo crack ($T = 196 \pm 9^\circ\text{C}$), la velocità delle reazioni di imbrunimento aumenta e all’interno dei chicchi si genera un accumulo di gas (principalmente anidride carbonica e vapor acqueo) che causa un’espansione dei chicchi. Quando la pressione interna creata dai gas diventa eccessiva, il chicco si apre aumentando di volume. Da questo momento in poi comincia la produzione del profilo tipico dell’aroma di caffè e per il tostatore rappresenta lo step fondamentale per modulare le componenti chiave che forniranno il gusto al prodotto finale. Dopo il primo crack, si ha la fase vera e propria dello sviluppo aromatico: questa fase stabilisce sia il colore finale che il grado di tostatura. Il ruolo del tostatore, a questo punto, diventa determinante per stabilire il corretto bilanciamento tra acidità e amarezza che si vuole ottenere nel prodotto finale e di conseguenza per stabilire quando interrompere il processo. Il livello di tostatura desiderato viene interrotto da una fase di raffreddamento dei chicchi, si utilizza aria nel caso di quantitativi ridotti o acqua nebulizzata nel caso di grandi quantitativi. Una volta sviluppato l’aroma, i chicchi possono subire un secondo crack durante il quale gli oli raggiungono la superficie del chicco, gran parte dell’acidità scompare e comincia a generarsi un nuovo

tipo di sapore, generalmente definito “tostato”. Tuttavia, questo sapore non dipende dalle caratteristiche aromatiche intrinseche dei chicchi utilizzati, ma da aromi che derivano essenzialmente dalla combustione dei chicchi stessi (“Handbook of Functional Beverages and Human Health”, 2016).

Da quanto riportato finora è evidente che il processo produttivo – dal chicco verde a quello tostato – prevede un certo numero di passaggi fondamentali che, indubbiamente, portano alla produzione di numerosi tipi di caffè con caratteristiche qualitative differenti in termini di zuccheri, acidi e composti aromatici (Cho, et al. 2013; Diviš et al., 2019; Münchow et al., 2020; Sunarharum et al., 2014). L'eccessiva diversificazione sul mercato di prodotti differenti provoca nei consumatori confusione e incertezza al momento dell'acquisto, sia se esso è effettuato presso la GDO sia se effettuato presso negozi specializzati (“Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil,” 2020; Giacalone et al., 2019).

In questo contesto, il presente lavoro riporta i risultati preliminari di uno studio più ampio, ancora in corso, portato avanti dal nostro gruppo di ricerca, che ha come obiettivo quello di individuare nuovi markers molecolari di prodotto e di processo che consentano di correlare la qualità del prodotto finito alle tecnologie produttive. L'obiettivo è perseguibile attraverso lo sviluppo di metodi di analisi in grado di quantificare i marcatori molecolari in campioni reali di caffè e la successiva elaborazione dei risultati sperimentali mediante analisi statistica multivariata per valutare l'efficacia dei markers selezionati nel discriminare i campioni.

2 Metodologia

I campioni (chicchi di caffè) analizzati per questo studio sono stati gentilmente offerti per scopi di ricerca dall'Accademia del Caffè (Pian di San Bartolo, Fiesole (Fi), Italia). I campioni provengono da uno stesso produttore situato in Colombia. Un campione è costituito da chicchi verdi e gli altri da chicchi di caffè sottoposti a differenti gradi di tostatura: leggera, media, medio-scura e scura. Il campione di caffè verde rappresenta la materia prima dei campioni successivamente tostati.

I campioni sono stati analizzati in HS-SPME (*Headspace Solid-Phase Microextraction* Coupled) accoppiata con GC-MS (*gas chromatography-mass spectrometry*). Per la microestrazione in fase solida è stata utilizzata una fibra in DVB/CAR/PDMS (*Divinylbenzene/Carboxen/Polydimethylsiloxane*). I campioni sono stati analizzati tal quali senza alcun pretrattamento. Una volta pesato, il campione è stato incubato per 20 min a 75 °C ed estratto in spazio di testa per ulteriori 20 minuti. Successivamente, la fibra è stata automaticamente trasferita all'iniettore del GC dove i composti, in

modalità splitless, desorbono per 5 min (split flow: 50 mL/min) ad una temperatura di 260 °C. Il gas di trasporto utilizzato è elio ad un flusso di 1 mL/min. La corsa cromatografica ha previsto una programmata di temperatura: 40 °C per 5 min, da 40 a 150 °C con una velocità di 6 °C/min, da 150 a 230 °C con una velocità di 15 °C/min, 3 min alla temperatura massima. La temperatura della transfer line dello spettrometro di massa è stata impostata a 250 °C e la sorgente di ionizzazione a 300 °C. Lo MS opera in impatto elettronico (EI) a 70 eV, nell'intervallo 35–350 a.m.u.

Tutti i campioni di caffè sono stati analizzati in duplicato entro una settimana dalla tostatura e le vials dei campioni sono state alternate con vials vuote al fine di evitare la contaminazione incrociata.

3 Discussione dei risultati

La letteratura scientifica è ormai ricca di studi che dimostrano come la componente volatile degli alimenti sia strettamente correlata alle caratteristiche organolettiche e nutrizionali dei prodotti finali, influenzando, di conseguenza, le scelte e il soddisfacimento del consumatore al momento dell'acquisto e del consumo (Angeloni et al., 2021; Gloess et al., 2018; Seninde & Chambers, 2020). In tale contesto, l'analisi del profilo aromatico di campioni di caffè può rilevarsi fondamentale nel caratterizzare i differenti tipi di caffè e nel cogliere le peculiarità di ciascun campione discriminandolo da altri presenti sul mercato. Attraverso lo studio della componente aromatica è pertanto possibile individuare marcatori molecolari da utilizzare come nuovi indicatori di prodotto o di processo che consentano di correlare la qualità del prodotto finito alle tecnologie produttive. Tali markers, strumentalmente misurabili e quindi oggettivi, possono rappresentare uno strumento utile da fornire ai vari attori della filiera per valorizzare quei prodotti a maggior valore aggiunto (Girma, 2020).

Nello specifico, questo studio intende, attraverso la valutazione della componente volatile del prodotto finito, caratterizzare il caffè in funzione della sua storia termica, e a tal fine sono stati analizzati campioni sottoposti a differenti gradi di tostatura. In particolare, sono stati analizzati chicchi di caffè verdi o non tostati (NT), chicchi di caffè sottoposti a tostatura leggera (LT), a tostatura media (MT), a tostatura medio-scura (MDT) e a tostatura scura (DT).

Ciascun campione di caffè, all'arrivo in laboratorio, era corredato da una scheda tecnica con i dati relativi a tre parametri fondamentali riguardanti il processo di tostatura, ovvero il *Roast Area Index* (RAI), il *Development Time* (DT) e il *Charge Temperature* (CT). Il RAI rappresenta la quantità di calore (energia termica) fornita ai chicchi di caffè durante il pe-

riodo di tostatura ed è calcolato come l'area sottesa alla curva di tostatura (temperatura vs. tempo); il DT si riferisce al periodo di tempo che intercorre tra la fase del primo crack subìta dai chicchi di caffè fino al termine del processo di tostatura; mentre, la CT rappresenta la temperatura della macchina tostatrice al momento dell'aggiunta dei chicchi. Questi tre parametri consentono di valutare in modo specifico e oggettivo il grado di tostatura dei chicchi di caffè. La Figura 1 mostra i tre parametri per ciascun campione (con diverso grado di tostatura) analizzati. Dalla Figura si evince che i valori dei tre indicatori mostrano un incremento progressivo man mano che il livello di tostatura dei chicchi di caffè è più spinto.

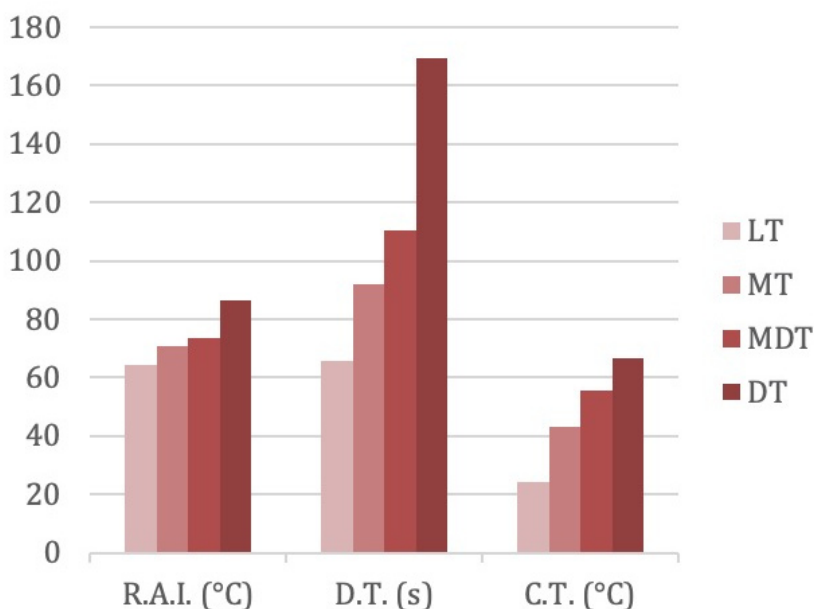


Figura 1 – Caratteristiche tecniche della tostatura dei campioni di chicchi di caffè analizzati. (Per motivi grafici, il valore del RAI è stato diviso per mille)

I campioni di caffè verde e di caffè tostato ai quattro diversi gradi di tostatura sono stati successivamente analizzati mediante HS-SPME/GC-MS per la determinazione della frazione volatile. La Figura 2 mostra la sovrapposizione dei profili cromatografici dei cinque campioni analizzati.

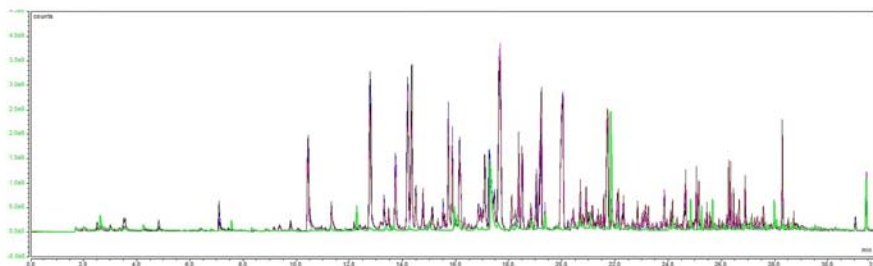


Figura 2 – Profilo cromatografico della frazione volatile dei chicchi di caffè: NT (verde), LT (nero), MT (blu), MDT (rosa), DT (marrone)

Da una valutazione qualitativa preliminare è possibile osservare il significativo incremento – sia in termini qualitativi che quantitativi – della popolazione volatile passando dal campione NT, ovvero i chicchi non tostati, a quelli ottenuti a diversi gradi di tostatura. Questa prima analisi conferma quanto riportato nell'introduzione, ossia che il diverso trattamento termico subito dai chicchi di caffè genera composti di nuova formazione o, viceversa, può comportare la degradazione di molecole già presenti nella materia prima. Dalla letteratura è possibile effettuare una classificazione dei composti chimici generati dalla tostatura del caffè in: tioli, tiofeni e tioazoli; pirazine, piridine e pirroli; furani; aldeidi e chetoni; fenoli. Questi composti derivano dalle principali reazioni che intercorrono durante il processo di tostatura, come la reazione di Maillard (tra composti azotati e carboidrati o composti acidi e fenoli), la degradazione di Strecker (tra amminoacidi e composti carbonilici), la formazione di composti a base di zolfo a partire da amminoacidi, la degradazione di trigonellina con formazione di piridine, pirazine e pirroli, la degradazione di acidi clorogenici con formazione di fenoli, la degradazione di pigmenti e la degradazione di lipidi. Tutte queste reazioni sono indispensabili per la formazione del bouquet aromatico del caffè in tazza.

A seguito dell'analisi gas-cromatografica dei campioni è stata effettuata una prima valutazione qualitativa andando ad individuare, grazie alla banca dati MiST (*Mass spectrometry interaction Statistics*), i composti caratteristici del volatiloma di ciascun tipo di campione. In Tabella 1 sono riportati i composti con i relativi tempi di ritenzione che hanno mostrato una differenza significativa tra i campioni. Le sostanze prese in considerazione sono quelle per cui la probabilità di corretta identificazione è relativamente elevata, ossia associata ad un RSI ≥ 850 . Tuttavia, questa fase dello studio è ancora in corso in quanto prevede per ciascun tipo di campione un maggiore popolamento.

t_r	Composto	t_r	Composto
7.11	Pentan-2,3-dienone	17.66	3-furaldeide
10.44	Piridina	18.12	2-metil-2-(metilsulfanil)furano
11.33	1,3-diazina	18.38	Furan-2-ilmetil formato
13.73	1-idrossi-2-propanone	18.53	1-(2-furanil)etanone
14.19	2,5-dimetilpirazina	19.24	2-furanmetilacetato
14.34	2,6-dimetilpirazina	21.85	Acido 3-metilbutanoico
14.50	Etilpirazina	24.65	1-(2-furanil)metilpirrolo
14.77	2,3-dimetilpirazina	25.06	2-metossifenolo
15.52	1-idrossi-2-butanone	26.27	3-idrossi-2-metil-4H-piran-4-one
15.72	2-etil-6-metilpirazina	26.34	3-acetoilpirrolo
15.87	2-etil-5-metilpirazina	28.29	2-metossi-4-vinilfenolo
16.14	Trimetilpirazina		

Tabella 1 – Composti e relativi tempi di ritenzione identificati nei campioni analizzati

Successivamente è stato valutato l'andamento dei composti identificati nel set di campioni analizzati e sono stati osservati molteplici trend differenti. Per esempio, il pentan-2,3-dienone, la piridina, la 1,3 diazina e la 3-furaldeide sono assenti nel campione NT e potrebbero, pertanto, rappresentare degli utili marker del trattamento termico utilizzato. L'acido 3-metilbutanoico presenta invece una concentrazione significativa nei campioni NT rispetto a quella rilevata nei campioni tostati. In generale, la maggior parte dei composti potrebbero rappresentare validi marker dei diversi tipi di tostatura. Infatti, la piridina, l'1,3-diazina, la trimetilpirazina, l'1-idrossi-2-propanone, la 2,5-dimetilpirazina, la 2,6-dimetilpirazina, l'etilpirazina, la 2,3-dimetilpirazina, l'1-(2-furanil)metilpirrolo, il 2-metossifenolo, il 3-idrossi-2-metil-4H-piran-4-one, il 3-acetoilpirrolo e il 2-metossi-4-vinilfenolo aumentano in concentrazione all'aumentare del grado di tostatura. Altri composti, invece, come per esempio il pentan-2,3-dienone, l'1-idrossi-2-butanone, la 2-etil-6-metilpirazina, la 2-etil-5-metilpirazina e la trimetilpirazina diminuiscono all'aumentare del grado di tostatura. L'ultimo andamento osservato è quello del 2-metil-2-(metilsulfanil)furano, del furan-2-ilmetilformato, dell'1-(2-furanil)etanone e del 2-furanmetilacetato che presentano una concentrazione significativa nei

campioni con il più alto grado di tostatura (DT) e simile negli altri gradi di tostatura (LT, MT e MDT) e possono quindi offrire un focus sull'utilizzo di trattamenti termici drastici. La Tabella 2 mostra una sintesi dei composti individuati e dei possibili utilizzi come indicatori del processo di tostatura.

Composti	Uso
Pentan-2,3-dienone, piridina, 1,3-diazina, 3-furaldeide, acido 3-metilbutanoico	Discriminazione di campioni non tostati da campioni tostati (NT ¹ vs LT-MT-MDT-DT)
Piridina, 1,3-diazina, 1-idrossi-2-propanone, 2,5-dimetilpirazina, 2,6-dimetilpirazina, etilpirazina, 2,3-dimetilpirazina, 1-(2-furanil)metilpirrolo, 2-metossifenolo, 3-idrossi-2-metil-4H-piran-4-one, 3-acetolpirrolo, 2-metossi-4vinilfenolo, Pentan-2,3-dienone, 1-idrossi-2-butanone, 2-etil-6metilpirazina, 2-etil-5metilpirazina e trimetilpirazina	Discriminazione dei campioni in base al grado di tostatura (LT vs MT vs MDT vs DT)
2-metil-2-(metilsulfonyl)furano, 2-metil-2-(metilsulfonyl)furano, 1-(2-furanil)etanone, 2-furanmetilacetato	Discriminazione di campioni sottoposti a trattamenti termici drastici (DT vs LT-MT-MDT)

Tabella 2

4 Conclusioni

Il presente studio, tuttora in corso, ha previsto l'analisi HS-SPME/GC-MS del profilo aromatico di chicchi di caffè verde e chicchi di caffè tostati a differenti gradi di tostatura con l'obiettivo di individuare nuovi marker di processo e/o prodotto, da associare agli indicatori convenzionali, per definire la qualità totale del prodotto finito.

I risultati preliminari mostrano che attraverso la valutazione della componente volatile è possibile individuare composti chimici, quali- e quantitativamente differenti, correlabili al trattamento termico subito dal chicco durante il processo di tostatura. Infatti, è stato possibile identificare sostanze presenti esclusivamente nella materia prima (chicco verde non tostato) e sostanze formatesi durante il trattamento termico, numerose delle quali incrementano in concentrazione quando il livello di tostatura è più spinto. Allo stato attuale dello studio i risultati ottenuti sono soddisfacenti, rispondendo positivamente agli obiettivi prefissati, ossia definire strumenti

oggettivi che possano fornire valore aggiunto in termini di qualità al prodotto caffè, nota l'eccessiva diversificazione presente sul mercato che causa incertezza e confusione nei consumatori al momento dell'acquisto. Nonostante ciò, disponendo di una popolazione più consistente di dati e di informazioni più complete sul processo produttivo, che consentano la costruzione di modelli statistici multivariati, i risultati ottenuti sarebbero sicuramente migliorabili.

Ringraziamenti

Un ringraziamento doveroso all'Accademia del Caffè per la fornitura dei campioni e dei dati relativi ai parametri utilizzati nel processo di tostatura dei campioni analizzati.

References

- ANGELONI, S., MUSTAFA, A.M., ABOUELENEIN, D., ALESSANDRONI, L., ACQUATICCI, L., NZEKOUÉ, F.K., PETRELLI, R., SAGRATINI, G., VITTORI, S., TORREGIANI, E., & CAPRIOLI, G. (2021). Characterization of the aroma profile and main key odorants of espresso coffee. *Molecules*, 26(13). <https://doi.org/10.3390/molecules26133856>.
- CAFFEINATED AND COCOA BASED BEVERAGES. (2019). In *Caffeinated and Cocoa Based Beverages*. <https://doi.org/10.1016/c2017-0-02382-0>.
- CHO, A.R., PARK, K.W., KIM, K.M., KIM, S.Y., & HAN, J. (2013). Influence of Roasting Conditions on the Antioxidant Characteristics of Colombian Coffee (*Coffea arabica L.*) Beans. *Journal of Food Biochemistry*, 38(3). <https://doi.org/10.1111/jfbc.12045>.
- COFFEE CONSUMPTION AND INDUSTRY STRATEGIES IN BRAZIL. (2020). In *Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil*. <https://doi.org/10.1016/c2017-0-02125-0>.
- DIVIŠ, P., POŘÍZKA, J., & KŘÍKALA, J. (2019). The effect of coffee beans roasting on its chemical composition. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 13(1). <https://doi.org/10.5219/1062>.
- ESQUIVEL, P., & JIMÉNEZ, V.M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>.
- FOLMER, B. (2017). The Craft and Science of Coffee. In *The Craft and Science of Coffee*.
- GIACALONE, D., DEGN, T.K., YANG, N., LIU, C., FISK, I., & MÜNCHOW, M. (2019). Common roasting defects in coffee: Aroma composition, sensory characterization and consumer perception. *Food Quality and Preference*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.03.009>.
- GIRMA, B. (2020). Review on coffee quality markers. *Academic Research Journal of Agricultural Science and Research*, 8(4).
- GLOESS, A.N., YERETZIAN, C., KNOCHENMUSS, R., & GROESSL, M. (2018). On-line analysis of coffee roasting with ion mobility spectrometry–mass spectrometry (IMS–MS). *International Journal of Mass Spectrometry*, 424. <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2017.11.017>.
- HANDBOOK OF FUNCTIONAL BEVERAGES AND HUMAN HEALTH. (2016). In *Handbook of Functional Beverages and Human Health*. <https://doi.org/10.1201/b19490>.
- KULAPICHTH, F., BOROMPICHAICHARKUL, C., SUPPAVORASATTI, I., & CADWALLADER K.R. (2019). Impact of drying process on chemical composition and key aroma components of Arabica coffee. *Food Chemistry*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.152>.

- MASSEY, J.L. (2016). Coffee: Production, consumption and health benefits. In *Coffee: Production, Consumption and Health Benefits*.
- MÜNCHOW, M., ALSTRUP, J., STEEN, I., & GIACALONE, D. (2020). Roasting conditions and coffee flavor: A multi-study empirical investigation. *Beverages*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/beverages6020029>.
- SENINDE, D.R., & CHAMBERS, E. (2020). Coffee flavor: A review. *Beverages*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/beverages6030044>.
- SUNARHARUM, W.B., WILLIAMS, D.J., & SMYTH, H.E. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. In *Food Research International*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.030>.

Indagine sull'atteggiamento dei consumatori italiani nei confronti di origine e sostenibilità dei prodotti alimentari e sulla conoscenza dei marchi regionali di qualità del Friuli Venezia Giulia

Paola Geatti
Università di Udine
Alberto Bertossi
Università di Udine
Francesco Marangon
Università di Udine

ABSTRACT

I marchi di qualità alimentare veicolano informazioni importanti, consentendo ai produttori di promuovere specifiche caratteristiche dei loro prodotti e aiutando i consumatori ad acquistare alimenti ad alto valore aggiunto. In particolare, i marchi regionali di qualità sono stati diffusamente introdotti in Italia dalle Istituzioni Pubbliche per dare informazioni di garanzia ai consumatori riguardo ai prodotti locali e sostenere le piccole e medie imprese e le economie rurali. La finalità di questo lavoro è presentare alcuni risultati preliminari di un progetto di ricerca che indaga da un lato la percezione dei consumatori relativamente ai marchi regionali di qualità alimentare del Friuli Venezia Giulia, (regione nel nord-est dell'Italia) e dall'altro come le loro decisioni di acquisto sono influenzate da fattori come ad esempio: l'origine geografica degli alimenti, la sostenibilità sociale e ambientale dei prodotti stessi e il prezzo. L'indagine è stata condotta mediante un questionario online con l'obiettivo di raggiungere un'ampia fascia di popolazione di diverse fasce di età, non necessariamente residente nella regione. Il questionario, costituito da domande a risposta chiusa, è stato corredato da un esperimento di scelta volto a definire le preferenze e la disponibilità a pagare relativamente a tre attributi: marchio regionale (che assicura l'origine geografica), metodo di produzione biologico e paesaggio. I risultati dell'indagine potrebbero rivelarsi utili anche per capire se i consumatori dispongono di un'informazione corretta sui marchi di qualità o se sarebbe opportuno un intervento da parte delle Istituzioni che li hanno ideati per migliorare la comunicazione sui marchi stessi.

PAROLE CHIAVE/KEYWORDS: marchi regionali di qualità; alimenti; origine; sostenibilità; esperimento di scelta; Italia.

1 Introduzione

Negli ultimi decenni, in presenza di un mercato globalizzato, un numero importante di consumatori nei Paesi Europei orienta la propria scelta verso alimenti provenienti dal territorio in cui risiede. Le motivazioni di questa scelta possono essere di vario tipo: la ricerca della freschezza o di particolari caratteristiche organolettiche degli alimenti, oppure il soddisfacimento di istanze personali di tipo etico, legate al desiderio di salvaguardare l'ambiente o di sostenere gli agricoltori e le aziende di trasformazione locali. In questo contesto, un ruolo importante è rivestito dalle istituzioni pubbliche che, mediante l'introduzione di opportuni marchi regionali di qualità, hanno la possibilità da un lato di favorire i consumatori, consentendo loro di operare una scelta informata e garantita, dall'altro di sostenere il tessuto produttivo locale, costituito spesso da piccole e medie imprese (Jadudová et al., 2018; Jadudová et al., 2023; Sadílek, 2019; van Ittersum et al., 2007).

I marchi regionali di qualità, anche in relazione al periodo storico di istituzione, possono veicolare informazioni diverse, relative esclusivamente all'origine geografica degli alimenti o anche alla qualità organolettica degli stessi, alla tracciabilità della filiera, a particolari metodi di produzione (legati ad esempio a tradizioni locali), oppure come accade per i marchi più recentemente istituiti, informazioni connesse ad aspetti di salvaguardia dell'ambiente o a criteri di sostenibilità sociale. Di conseguenza in uno stesso territorio possono venire introdotti nel tempo e coesistere diversi marchi regionali di qualità rispondenti a istanze diverse.

Nella regione italiana Friuli Venezia Giulia, attualmente sono presenti due strumenti di questo tipo: il marchio «AQUA» e il marchio «Io sono Friuli Venezia Giulia», entrambi marchi collettivi e volontari. Il marchio «AQUA» (Agricoltura, Qualità, Ambiente) è stato istituito dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia con legge regionale nel 2002, affidando all'Agenzia regionale per lo sviluppo rurale (ERSA) la gestione del marchio, ossia il riconoscimento e la registrazione del marchio, l'individuazione dei tipi di prodotto da ammettere al marchio e la redazione dei disciplinari tecnici di produzione (Tudorov, 2018). Nella fattispecie, i disciplinari tecnici di produzione definiscono le tecniche di produzione, i requisiti del prodotto finale e i criteri di identificazione e tracciabilità, assicurando la sostenibilità ambientale, la qualità del prodotto (intesa come qualità determinata da rispetto e cura di buone pratiche di produzione) e la salubrità per il consumatore finale. Per questo marchio è prevista la certificazione da parte di un ente terzo indipendente. Il marchio è stato concesso a diversi prodotti (miele, patate, asparago bianco, vongole veraci filippine, cozze, trota iridea, salmerino, carne suina, latte crudo vaccino e

derivati) e può essere conferito anche a preparazioni ottenute con l'utilizzo di prodotti AQUA, nel rispetto di determinate condizioni (Il marchio AQUA, 2018; Tudorov, 2018). Il marchio di qualità regionale «Io sono Friuli Venezia Giulia» (noto anche come «Io sono FVG») è un marchio che può essere concesso a prodotti e ad aziende, istituito nel 2020 dalla Fondazione Agrifood & Bioeconomy FVG, partecipata dalla Regione quale socio fondatore, indicata brevemente come Agrifood FVG. Agrifood FVG è titolare del marchio e responsabile della sua gestione e implementazione. Il marchio è stato istituito al fine di: 1) valorizzare prodotti e servizi della regione (beni e servizi la cui produzione, commercializzazione e distribuzione sono riconosciute apportatrici di benefici a tutta la collettività), 2) favorire sinergie tra i diversi attori del settore agroalimentare e dei settori ad esso connessi, 3) realizzare un sistema di tracciamento dei prodotti (dall'origine alle fasi di produzione e vendita) che sia accessibile al consumatore tramite QR-code, 4) valorizzare la cultura agroalimentare del territorio e il paesaggio rurale, attraverso l'impegno al rispetto di obiettivi di sostenibilità con riferimento ai criteri ESG (*Environmental, Social and Governance*), al Global Compact ONU e all'Agenda 2030 (Regolamento del marchio Io sono FVG, 2020). Il 'marchio azienda' di «Io sono Friuli Venezia Giulia» è di colore oro e viene riconosciuto ad aziende agroalimentari impegnate in pratiche di sostenibilità ambientale, economica e sociale nella regione Friuli Venezia Giulia. A loro volta, le aziende cui è stato conferito il 'marchio azienda' possono richiedere il marchio per i loro prodotti. Il 'marchio prodotto' è di colore blu ed è abbinato ad un QR-code che permette la tracciabilità della filiera di produzione. Esiste poi il 'marchio *branding*' che può essere richiesto da operatori della grande distribuzione, da aziende alberghiere, di ristorazione, di catering, da ristoranti, bar e da rivenditori al dettaglio, che dichiarino di acquistare almeno una linea di prodotto marchiato da fornitori licenziatari del marchio azienda e che si impegnino a garantire la disponibilità di prodotti marchiati presso la propria attività. Varie tipologie di prodotti alimentari hanno ottenuto il marchio «Io sono Friuli Venezia Giulia»: vini, birra, succhi di frutta, confetture, infusi, acqua minerale, farine di legumi e di cereali e loro derivati, prodotti ortofrutticoli e loro conserve, prodotti carnei freschi e lavorati, derivati del latte etc. (Io sono Friuli Venezia Giulia, 2023).

Diversi autori hanno confermato l'importanza dei marchi regionali di qualità per l'economia locale e per lo sviluppo turistico di un territorio, proprio perché questa tipologia di marchio contribuisce al processo di formazione dell'identità regionale (Bingen, 2012; Iaia et al., 2016; Jađudová et al., 2023; Pato and Duque, 2023; Tregear et al. 2007). Nonostante l'importanza da essi rivestita, non sono numerosi gli studi sui marchi regionali di qualità collettivi reperibili in letteratura. Ricerche su questo tema sono

state effettuate per lo più in Slovacchia, nella Repubblica Ceca e in Austria (Chalupová, Prokop e Rojík, 2015; Chalupová et al., 2021; Jaďudová et al., 2018; Jaďudová et al., 2020; Jaďudová et al., 2022; Jaďudová et al., 2023; Rojík, et al., 2017; Sadílek, 2019). Nel panorama italiano, dove quello agroalimentare rappresenta un settore chiave per l'economia del Paese, i marchi collettivi regionali sono stati oggetto di attenzione in particolare nella letteratura grigia (Cavino, 2015; Gallarati, 2016; Losavio, 2015; Peira et al., 2014; Tudorov, 2018) o in contributi in volume o atti di convegno (Crescenzi e Mannelli, 2015; Sillani e Belletti, 2013). Risultano essere stati recentemente pubblicati su riviste a carattere internazionale dei lavori riguardanti il marchio «Prodotti di Qualità» della Regione Puglia (Capone, El Bilali e Bottalico, 2016; Santeramo et al., 2022). Non risultano pubblicati studi riguardanti le preferenze dei consumatori riferibili ai marchi regionali collettivi presenti nella regione Friuli Venezia Giulia che utilizzino in particolare i metodi impiegati in questo lavoro di ricerca.

Con il presente lavoro si è voluto dare un contributo a questo ambito di ricerca, indagando la percezione dei consumatori relativamente ai marchi regionali di qualità esistenti nella regione Friuli Venezia Giulia («AQUA» e «Io sono FVG») e il loro orientamento nei confronti di attributi che caratterizzano i prodotti alimentari (caratteristiche organolettiche, nutrizionali, di salvaguardia ambientale, di sostenibilità sociale e di origine) in particolare nel momento delle decisioni di acquisto.

2 Metodologia

L'indagine per rilevare la percezione dei consumatori nei confronti dei marchi di qualità regionali del Friuli Venezia Giulia e il loro orientamento in fase di acquisto, è stata condotta mediante la somministrazione di un questionario composto da quattro sezioni, con complessive 32 domande. Nella prima sezione è stata predisposta una serie di domande generali dedicate alla raccolta delle caratteristiche socioeconomiche degli intervistati e delle informazioni relative alle loro abitudini di spesa di prodotti alimentari. Nella seconda sezione del questionario sono state formulate domande volte ad indagare l'orientamento dei consumatori in merito ad aspetti quali: l'origine geografica, il prezzo, le caratteristiche nutrizionali ed organolettiche e la sostenibilità ambientale e sociale dei prodotti alimentari. La terza sezione riguarda il grado di conoscenza dei marchi di qualità regionali del Friuli Venezia Giulia e le abitudini di consumo dei prodotti alimentari contrassegnati da ciascun marchio. Nella quarta sezione del questionario, infine, con l'obiettivo di comprendere l'importanza della presenza di un marchio di qualità nella scelta di un bene, agli intervistati è stato pro-

posto un esperimento di scelta (*choice experiment*), che nel presente articolo viene solo in parte analizzato. Si tratta di un metodo diffusamente impiegato, in diversi settori economici, per valutare le preferenze dei consumatori. Tale metodo si basa sulla combinazione tra la teoria delle caratteristiche del valore di Lancaster e la teoria dell'utilità casuale, in base alle quali i consumatori valutano un bene in funzione delle utilità parziali derivanti dalle caratteristiche (attributi) che lo compongono. Combinando i diversi livelli delle caratteristiche del bene considerato si possono costruire delle alternative di scelta, che vengono raggruppate in scenari di scelta. Questi vengono sottoposti all'attenzione degli intervistati, ai quali viene chiesto di indicare l'alternativa preferita, come se dovessero realmente procedere all'acquisto. Si giunge, quindi, alla misurazione delle preferenze degli intervistati.

Nel presente studio è stato creato un mercato ipotetico, in cui agli intervistati sono stati presentati otto diversi scenari di scelta, contenenti due diverse alternative (di un bene). È stato chiesto loro di scegliere l'alternativa preferita per ciascuno degli scenari proposti, dando loro anche l'opportunità di indicare la volontà di non acquistare, proprio per aderire a quanto accade in una situazione reale. In merito alle caratteristiche del bene, si precisa che sono stati considerati quattro attributi con i relativi livelli, che sono stati individuati mediante un focus group con esperti e decisori istituzionali del settore.

Analizzando le risposte ottenute dall'esperimento di scelta si possono individuare le alternative e le caratteristiche che hanno raccolto il maggior numero di preferenze, potendo, inoltre, stimare il prezzo premium che i consumatori sono disposti a pagare per le caratteristiche desiderate (Carzedda et al., 2021; Gallenti et al., 2016; Hensher, Rose e Greene, 2005; Scarpa et al., 2003; Troiano et al., 2016).

Il questionario è stato somministrato sotto forma di sondaggio Microsoft Forms. Riguardo alla raccolta dei dati, è stato deciso di utilizzare in una prima fase una modalità di campionamento *snowball* via *social media* (Leighton et al., 2021) attraverso LinkedIn, Facebook e Whatsapp e in una seconda fase indirizzare l'indagine (via mailing list) su una fascia specifica di popolazione, gli *Zoomers* o "Generazione Z" (persone nate tra la seconda metà degli anni novanta del XX secolo e i primi anni dieci del XXI secolo), che saranno i consumatori prevalenti sul mercato nei prossimi anni.

In questo lavoro vengono presentati alcuni risultati preliminari della prima fase di indagine: il sondaggio è stato avviato verso la fine del mese di agosto 2023 e in questa prima analisi sono state considerate le risposte fornite entro tre settimane dal lancio del questionario.

Nel questionario sono stati indagati i marchi di qualità regionale del Friuli Venezia Giulia: «AQUA» e «Io sono FVG». Relativamente alla sezione comprendente l'esperimento di scelta, sono stati proposti otto

gruppi di scelta, ognuno dei quali comprendente due confezioni di confettura extra di mele alternative e ipotetiche, più la possibilità 'nulla', ovvero quella di non scegliere nessuna delle alternative proposte. Le possibili scelte sono state 'costruite' proponendo il marchio «Io sono FVG», di più recente introduzione sul mercato, in alternativa ad un marchio di qualità fittizio, non presente sul mercato. Gli altri attributi testati riguardavano il prezzo (presentato con due livelli, ossia € 3 e 4), il metodo di produzione (più o meno sostenibile dal punto di vista ambientale, rappresentato da "biologico" e "convenzionale") e il paesaggio generato da diverse modalità di gestione della produzione (due livelli descritti mediante due fotografie, di cui un paesaggio riportante un meleto intensivo e un altro con alcuni meli in un contesto di montagna particolarmente gradevole).

3 Discussione dei risultati

Il campione intervistato (105 rispondenti) è risultato costituito per il 65,71% da femmine e possiede un'età media di 51 anni. Le classi di età maggiormente rappresentate dal campione sono quella di età compresa tra 50 e 59 anni (41,90% del campione), quella di età compresa tra 40 e 49 anni (22,86% dei rispondenti) e la fascia 60-69 anni (15,24%).

I rispondenti risiedono prevalentemente nella regione Friuli Venezia Giulia (87,62%), abitano per il 43,81% in capoluoghi di provincia e per il 56,19% in insediamenti minori. Il 76,19% del campione dichiara di possedere come titolo di studio la laurea triennale o titolo superiore. Dal punto di vista della attività professionale, il 60,00% è lavoratore dipendente, il 15,24% è imprenditore o lavoratore autonomo, a seguire i rispondenti sono pensionati (9,52%), studenti (4,76%) o liberi professionisti (2,86%). Il 5,71% dei rispondenti ha selezionato l'opzione 'altro', mentre il 1,90% sono casalinga/o. Relativamente al numero di componenti del nucleo familiare si è potuto notare una situazione piuttosto diversificata: il campione è risultato composto per il 29,81% da nuclei di 2 persone, per il 27,88% da nuclei di 4, per il 23,08% da 3 e infine per il 17,31% da single.

La maggior parte dei rispondenti (80,00% del campione) si occupa in prima persona dell'acquisto di generi alimentari per il proprio nucleo familiare, spesa che viene fatta per lo più presso negozi della grande distribuzione (GD) e in misura inferiore presso negozi al dettaglio (Figura 1).

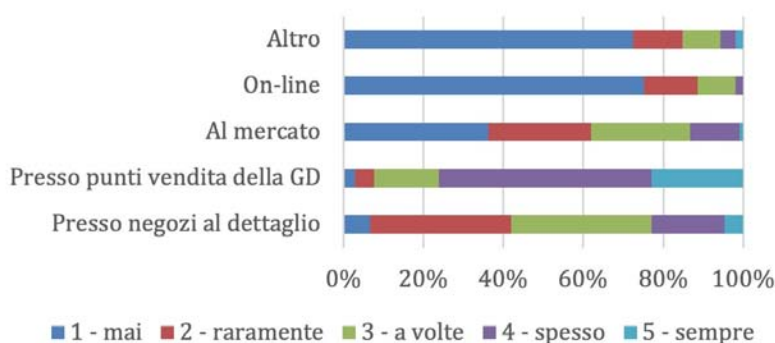


Figura 1 – Risposte degli intervistati in merito alle usuali modalità/luoghi di approvvigionamento alimentare

Il campione di rispondenti è stato interrogato su quanto fossero importanti determinate caratteristiche (potenzialmente veicolabili da un marchio di qualità) associate ad un prodotto alimentare. Si chiedeva di valutare secondo una scala di tipo Likert a 5 livelli (1 = per niente; 2 = poco; 3 = abbastanza; 4 = molto; 5 = moltissimo) tali caratteristiche, elencate una di seguito all'altra (la Tabella 1 riporta la media delle valutazioni risultanti per gli attributi indagati). Dalle risposte ottenute si evidenzia che le caratteristiche ritenute maggiormente importanti sono: che l'alimento sia stato prodotto con materie prime della propria regione di residenza (media 3,26), che l'alimento sia stato prodotto nella regione di residenza (media 3,20) e che riporti sulla confezione un determinato marchio del produttore/distributore (media 3,19). Rivestono minore importanza per gli intervistati il fatto che l'alimento sia stato prodotto nel rispetto di condizioni di lavoro sicure e che prevedano una equa retribuzione degli addetti (media 2,24) e il fatto che l'alimento sia stato prodotto rispettando l'ambiente (media 2,09). La condizione che l'alimento sia stato prodotto nel territorio nazionale (media 2,42) risulta essere una caratteristica di minor interesse rispetto al fatto che sia stato prodotto nella regione di residenza (3,20). Questo risultato evidenzia l'importanza che i marchi regionali di qualità possono avere agli occhi dei consumatori.

Attributi associati ad un prodotto alimentare	Valutazione (media)
Prodotto nella propria regione di residenza	3,20
Prodotto con materie prime della regione di residenza	3,26

Alimento 'a chilometro zero' (prodotto entro 70 Km dalla residenza)	3,08
Prodotto nel territorio nazionale	2,42
Prodotto rispettando l'ambiente	2,09
Prodotto nel rispetto di condizioni di lavoro salubri e sicure degli addetti e di una equa retribuzione degli addetti stessi	2,24
Contrassegnato da uno specifico marchio del produttore/distributore	3,19

Tabella 1 – Valutazioni espresse dai rispondenti relativamente agli attributi associati ad un prodotto alimentare (valore medio)

Per comprendere poi quali sono le effettive motivazioni che spingono all'acquisto di un prodotto alimentare è stato chiesto agli intervistati di esplicitare quali sono le motivazioni prevalenti alla base delle decisioni di acquisto di un alimento. Anche in questo caso è stato chiesto di valutare le motivazioni secondo una scala Likert a 5 livelli (1 = per niente; 2 = poco; 3 = abbastanza; 4 = molto; 5 = moltissimo). In Tabella 2 sono riportate le valutazioni medie ottenute dalle motivazioni elencate. I rispondenti hanno dichiarato che le loro decisioni di acquisto sono motivate prevalentemente da aspetti legati alle caratteristiche nutrizionali (media 3,74) e organolettiche (3,72) del prodotto, seguiti di poco da aspetti ambientali (3,55), sociali¹ (3,51) e legati all'origine geografica (3,46). La motivazione legata al marchio del produttore o in generale alla sua reputazione risulta essere meno importante (3,14). La motivazione economica (prezzo) risulta essere quella meno influente nelle decisioni di acquisto (media 2,78). Le risposte fornite evidenziano che le motivazioni legate agli aspetti nutrizionali e sensoriali sono leggermente prevalenti sulle altre e, a parte la bassa valutazione ottenuta dalla motivazione economica, non ci sono differenze particolarmente significative da segnalare per le altre motivazioni.

Motivazioni influenti sulle decisioni di acquisto di un prodotto alimentare	Valutazione (media)
Economiche (prezzo)	2,78
Nutrizionali	3,74
Organolettiche (gusto, aspetto, odore, consistenza...)	3,72
Legate all'origine geografica del prodotto	3,46

¹ La voce "motivazioni sociali" era arricchita nel questionario da una breve delucidazione che permetteva di riferire il concetto al rispetto dei diritti e del benessere delle persone coinvolte nel processo di produzione dell'alimento.

Ambientali	3,55
Sociali	3,51
Legate al marchio o alla reputazione del produttore/distributore	3,14

Tabella 2 – Valutazioni espresse dai rispondenti in merito alle motivazioni di acquisto di un prodotto alimentare (valore medio)

Tuttavia dall'analisi sembra emergere una certa incoerenza in quanto affermato dai rispondenti: alla domanda su quanto fosse importante il fatto che l'alimento venisse prodotto nel rispetto dell'ambiente e di condizioni di lavoro eque e sicure, mediamente questi aspetti avevano ottenuto una bassa valutazione; invece, nel determinare le scelte di acquisto gli aspetti sociali e legati all'ambiente risultano avere un valore non trascurabile rispetto agli altri. Peraltro i rispondenti sembrano mantenere un certo riserbo nel rivelare le proprie motivazioni di acquisto, dichiarando che sono 'abbastanza' legate alla maggior parte dei criteri presentati, quasi non volendo esporsi.

È stato poi testato il comportamento dei consumatori di fronte ad un marchio di qualità. Quando decidono di acquistare un prodotto contrassegnato da un marchio di qualità, solo poco più della metà dei rispondenti (52,38%) approfondisce quali sono gli aspetti tutelati e garantiti dal marchio leggendo documenti specifici (come ad esempio il regolamento d'uso del marchio, i disciplinari di produzione etc.).

Di seguito il questionario è passato a investigare la riconoscibilità dei marchi di qualità regionali del Friuli Venezia Giulia: il marchio «AQUA» è conosciuto dal 32,38% degli intervistati, mentre il marchio «Io sono Friuli Venezia Giulia», di più recente introduzione, è conosciuto dal 63,81% dei rispondenti.

Analizzando i mezzi con cui il consumatore è venuto a conoscenza del marchio, per quanto riguarda «Io sono Friuli Venezia Giulia», siti *internet*, eventi, *social media* e riviste/giornali sono i canali con azione maggiormente divulgativa, mentre risultano meno efficaci gli altri canali (punti vendita, radio e tv). Il passaparola e il produttore risultano di importanza marginale (Figura 2).

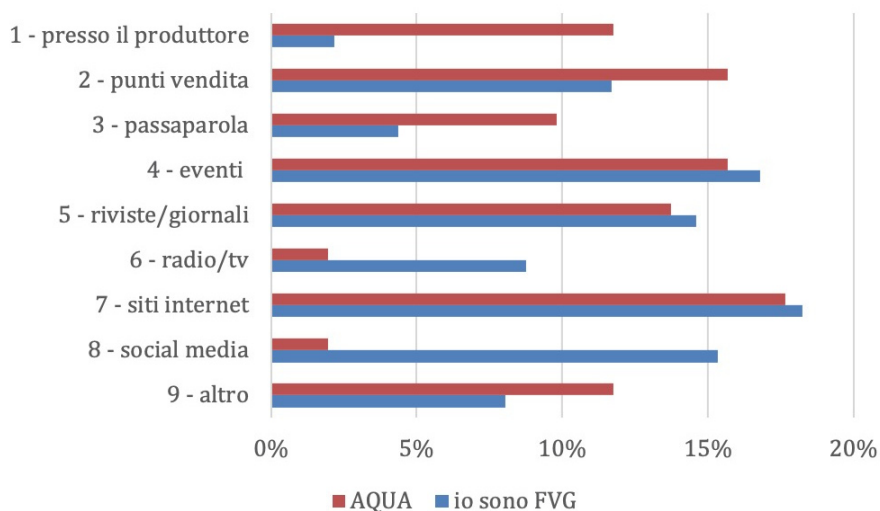


Figura 2 – Risposte degli intervistati relativamente a come sono venuti a conoscenza dei marchi regionali di qualità alimentare indagati

Le risposte di coloro che dichiarano di conoscere il marchio «AQUA», mostrano che (a differenza di quanto riportato per il marchio «Io sono FVG») oltre ai siti *internet*, gli eventi e le riviste/giornali, sono risultati molto importanti per conoscere il marchio i punti vendita e il produttore. In questo caso, importanza quasi trascurabile rivestono i *social media* e i canali radio-televisivi (Figura 2).

Degli intervistati che conoscono il marchio «Io sono Friuli Venezia Giulia» il 23,88% consuma almeno una volta alla settimana prodotti alimentari etichettati con questo marchio e il 25,37% li consuma almeno una volta al mese. Il 13,43%, pur conoscendo il marchio, dichiara di non consumarne i prodotti.

Relativamente al marchio «AQUA», coloro che lo conoscono consumano prodotti contrassegnati dal marchio stesso meno di una volta al mese nel 44,12% dei casi, mentre li consuma una volta al mese il 14,71% dei rispondenti e una volta alla settimana l'11,76%. Da notare che il 26,47% che dichiara di conoscerlo non lo consuma. Si evidenzia quindi una maggiore efficacia sul mercato del marchio «Io sono Friuli Venezia Giulia».

A coloro che hanno risposto di conoscere l'uno o l'altro marchio o entrambi è stato chiesto, per ciascuno di essi, di esprimersi su una scala Likert da 1 a 5, in merito ai benefici che si ritiene accompagnino il marchio

stesso. Nella Tabella 3 sono riportati i potenziali benefici di un marchio di qualità regionale e il valore medio delle risposte fornite dagli intervistati per ciascuno dei due marchi. In Figura 3 e in Figura 4 sono rappresentate le risposte degli intervistati rispettivamente per «AQUA» e «Io sono FVG». Osservando la Tabella 3, si evidenzia che i possibili benefici dei marchi di qualità regionale vengono percepiti come garantiti in pressoché ugual misura ('abbastanza') da entrambi i marchi, sia «AQUA» che «Io sono Friuli Venezia Giulia». Dai risultati emersi da questa indagine si potrebbe quindi affermare che i marchi di qualità regionale del Friuli Venezia Giulia sono percepiti come una garanzia di per sé: questi marchi, probabilmente per il fatto che sono stati promossi da una Istituzione Pubblica, sembrano godere di una affidabilità a priori, indipendentemente dagli aspetti che, secondo il regolamento istitutivo, essi hanno il compito di salvaguardare (la mera origine, la qualità della produzione, la sostenibilità ambientale o sociale) e indipendentemente dal fatto che prevedano la certificazione da parte di un ente terzo o meno.

Poterziali benefici apportati da un marchio di qualità regionale		Valutazione media	
		AQUA	Io sono FVG
a.	Garantisce un buon livello di qualità nutrizionale	3,00	2,97
b.	Garantisce un buon livello di qualità organolettica	2,94	2,85
c.	Riduce la probabilità di imitazioni fraudolente dei prodotti	3,12	3,15
d.	Porta ad un miglioramento delle condizioni dell'ambiente nella regione	2,94	2,93
e.	Porta ad una maggiore occupazione nella regione	2,91	3,06
f.	Porta ad un aumento dei redditi degli agricoltori/allevatori	2,91	2,99

Tabella 3 – Valutazioni espresse dai rispondenti in merito ai benefici che reputano essere garantiti dai marchi «AQUA» e «Io sono FVG» (valore medio)

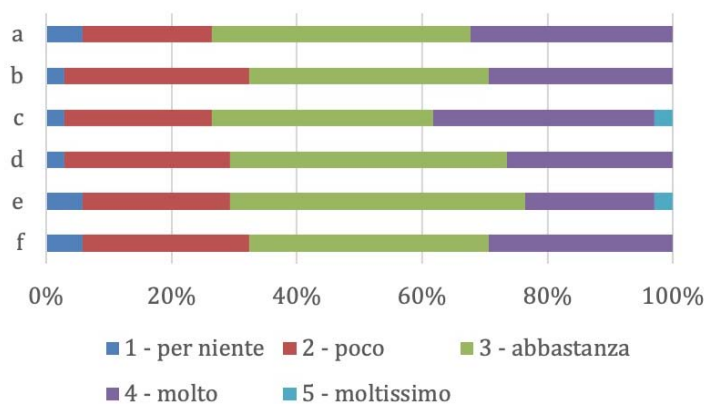


Figura 3 – Risposte degli intervistati in merito ai benefici che reputano essere garantiti dal marchio «AQUA»

Le lettere riportate in ordinata si riferiscono alle voci elencate in Tabella 3.

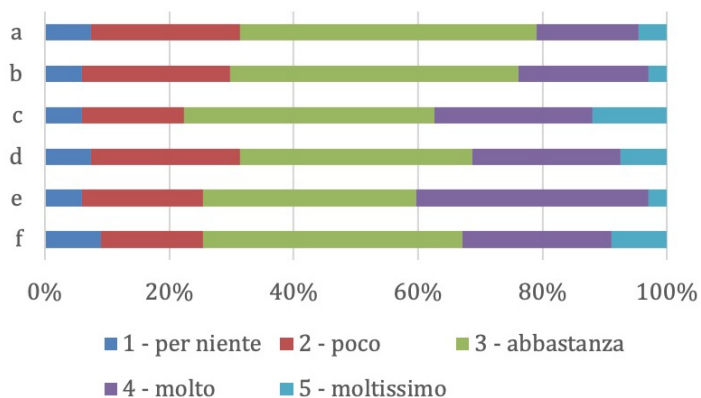


Figura 4 – Risposte degli intervistati in merito ai benefici che reputano essere garantiti dal marchio «Io sono FVG»

Le lettere riportate in ordinata si riferiscono alle voci elencate in Tabella 3.

Tuttavia il fatto che le percezioni degli intervistati relativamente ai possibili benefici dei marchi risultino avere valori (medi) molto simili, vicini

al valore 3 ('abbastanza') può far pensare ancora una volta che i rispondenti preferiscano non sbilanciarsi nel dare pareri/giudizi in merito oppure che i marchi stessi non riescano a far percepire in maniera chiara al consumatore gli aspetti di garanzia di qualità per i quali sono stati strutturati.

Va considerato anche il fatto che il 52,38% degli intervistati non cerca di sua iniziativa approfondimenti sui caratteri distintivi dei marchi e questo potrebbe giustificare l'incertezza dei rispondenti nell'indicare quali siano i benefici peculiari dei marchi indagati.

Per quanto riguarda l'esperimento di scelta, considerato il limitato numero di risposte disponibili al momento dell'analisi dei risultati preliminari del lavoro, è possibile fare solo qualche considerazione di massima. Analizzando i dati, si evidenzia che il set di attributi che ha ottenuto il maggior gradimento risulta essere quello che identifica una confezione di confettura extra di mele ottenuta da materia prima coltivata secondo il metodo biologico, in un contesto di elevato valore paesaggistico, contrassegnata dal marchio di qualità «Io sono FVG» e che ha il prezzo inferiore tra le due alternative di prezzo proposte, caratteristiche che massimizzano l'utilità del consumatore rispetto ai diversi attributi esaminati.

Per contro, il set di attributi che ha ricevuto il consenso più basso è rappresentato da una confettura derivante da una materia prima prodotta con metodo convenzionale, in un contesto di elevato valore paesaggistico, avente il prezzo più basso tra i due proposti e contrassegnata dal marchio di qualità fittizio.

Da questa prima analisi si può dedurre che gli attributi considerati maggiormente importanti siano la presenza di un marchio di qualità regionale noto e l'impiego di un metodo di produzione agricola a basso impatto ambientale.

Tuttavia è solo con una analisi fatta su un campione numericamente più consistente che si potranno estrapolare delle considerazioni maggiormente attendibili.

4 Conclusioni

Obiettivo di questo studio era quello di indagare l'atteggiamento dei consumatori nei confronti di alcuni attributi di qualità di un alimento (come ad esempio origine e sostenibilità dei prodotti) e il loro livello di conoscenza e gradimento dei marchi regionali di qualità (collettivi) del Friuli Venezia Giulia.

Trattandosi di una analisi preliminare basata su una limitata quantità di dati, è possibile fare solo qualche considerazione iniziale.

Quando le persone sono state intervistate su quali fossero gli attri-

buti di qualità di un prodotto alimentare (potenzialmente veicolabili da un marchio di qualità regionale) interessanti per loro, le risposte non hanno indicato un attributo prevalente: tutti gli attributi sono risultati mediamente abbastanza graditi, con una leggera prevalenza per quelli che prevedono che la fase di produzione primaria dell'alimento e le eventuali fasi di trasformazione siano svolte nella regione di residenza. Minore apprezzamento risultano avere gli attributi di sostenibilità ambientale e sociale.

Questo risultato, che va comunque verificato su un numero di risposte maggiore, confermerebbe l'importanza dei marchi collettivi di origine, che peraltro possono veicolare anche attributi aggiuntivi, come avviene per i marchi del Friuli Venezia Giulia. Tuttavia, secondo i dati raccolti, questo maggiore apprezzamento per l'origine regionale dei prodotti (rispetto agli attributi di sostenibilità ambientale e sociale) sembrerebbe non emergere nelle decisioni di acquisto, mentre si evidenzia che l'attenzione dei consumatori al momento della spesa viene catturata maggiormente dalle caratteristiche nutrizionali ed organolettiche degli alimenti. Il prezzo non sembra essere determinante. Anche in questo caso però, nel fare queste considerazioni è necessario tenere conto del fatto che mediamente le risposte date sono comprese in un *range* di apprezzamento molto limitato, che potrebbe essere dovuto ad un certo riserbo nel rivelare i fattori determinanti delle proprie decisioni di acquisto. Si confermerebbe quindi l'opportunità di avvalersi nell'indagine anche della metodologia dell'esperimento di scelta, che, permettendo di superare alcune barriere psicologiche del consumatore al momento dell'intervista, consente di appurare in maniera più vicina al reale quali sono i *driver* che guidano le scelte di acquisto dei consumatori. Come già precisato, è necessario ottenere un maggior numero di risposte per una corretta applicazione del metodo (la raccolta dei dati sta proseguendo) e, in generale, è auspicabile raggiungere anche la fascia di popolazione dei giovani, che non è risultata molto rappresentata in questo primo stadio di raccolta dati. La seconda fase del progetto che sarà avviata a breve, prevede un focus specifico sulla popolazione di giovani (Generazione Z).

Per quanto riguarda i marchi indagati, «Io sono FVG» è risultato essere più conosciuto, meno conosciuto invece il marchio «AQUA». L'esistenza di più marchi di qualità regionale in uno stesso territorio è da considerarsi un fattore di ricchezza, in quanto ciascun marchio può veicolare attributi di qualità diversi (o diversi solo in parte), legati alla valorizzazione di aspetti sociali, ambientali o di buone pratiche nelle fasi di produzione primaria e di trasformazione oppure legati alla tracciabilità della filiera produttiva.

I gestori dei marchi indagati, che sono a conoscenza dell'indagine in via di svolgimento, potranno utilizzare i risultati per rafforzarne l'utilizzo presso i consumatori. Potrebbe essere ad esempio vantaggioso potenziare

opportunamente le campagne informative sui marchi, organizzate a livello istituzionale o dai produttori, con l'obiettivo di informare adeguatamente i consumatori in merito agli attributi di qualità garantiti da ciascun marchio, per favorire una scelta consapevole e accrescere la loro cultura agroalimentare.

Bibliografia

- BINGEN, J. 2012. "Labels of origin for food, the new economy and opportunities for rural development in the US." *Agriculture and Human Values*. 29:543-552.
- CAPONE, R., HAMID EL BILALI E BOTTALICO F. 2016. "Assessing the Sustainability of Typical Agro-Food Products: Insights from Apulia Region, Italy." *New Medit*. 15:28-35.
- CARZEDDA, M., GALLENTI, G., TROIANO, S., COSMINA, M., MARANGON, F., DE LUCA, P., PEGAN, G., NASSIVERA F. 2021. "Consumer preferences for origin and organic attributes of extra virgin olive oil: A choice experiment in the Italian market." *Foods*. 10:994.
- CAVINO, M. 2015. "I marchi regionali di qualità agro-alimentare" *Il Piemonte delle Autonomie*. 2/2015:1-8.
- CHALUPOVÁ, M., PROKOP, M., ROJÍK, S. 2015. "Regional food preference and awareness of regional labels in Vysocina region (Czech Republic)." *European Countryside*. 8:109-121.
- CHALUPOVÁ, M., ROJÍK S., KOTOUČKOVÁ, H., KAUEROVÁ, L. 2021. "Food Labels (Quality, Origin, and Sustainability): The Experience of Czech Producers." *Sustainability*. 13:318 .
- CRESCENZI, A., MANNELLI, R. 2015. "Vetrina Toscana: from regional trade brand to regional umbrella brand" *Second International Conference on Agriculture in an Urbanizing Society Reconnecting Agriculture and Food Chains to Societal Needs 14-17 September 2015 Rome Italy: Proceedings of the Conference*. 131-132.
- GALLARATI, F. 2016. "I marchi regionali di qualità con indicazione di provenienza: ostacoli al libero scambio o nuova frontiera della politica agricola europea?" *DPCE online*. 27(3): 1-14.
- GALLENTI, G., TROIANO, S., COSMINA, M., MARANGON, F. 2016. "Ethical and sustainable consumption in the Italian coffee market: A choice experiment to analyse consumers' willingness to pay." *Rivista di Economia Agraria*. 71:153-176.
- HENSHER, D.A., ROSE, J.M., GREENE, W.H. 2005. *Applied choice analysis: a primer*. Cambridge: University Press.
- IAIA, L., MAIZZA, A., FAIT, M., SCORRANO, P. 2016. "Origin based agro-food products: how to communicate their experiential value online?" *British Food Journal*. 118:1845-1856.
- IL MARCHIO AQUA. 2018. ERSA Agenzia regionale per lo sviluppo rurale. <http://www.aqua.fvg.it/> (consultato il 5 settembre 2023).
- IO SONO FRIULI VENEZIA GIULIA. 2023. Agrifood FVG. <<https://www.io-sonofvg.it/> > (consultato il 6 settembre 2023).

- JAĎUĎOVÁ, J., MARKOVÁ, I., HRONCOVÁ, E., HRONCOVÁ VICIANOVÁ, J. 2018. "An Assessment of Regional Sustainability through Quality Labels for Small Farmers' Products: A Slovak Case Study" *Sustainability*. 10:1273.
- JAĎUĎOVÁ, J., BADIDA, M., BADIDOVÁ, A., MARKOVÁ, I., ŤAHÚŇOVÁ, M., HRONCOVÁ, E. 2020. "Consumer Behavior towards Regional Eco-Labels in Slovakia" *Sustainability*. 12:5146.
- JAĎUĎOVÁ, J., TOMAŠKIN, J., ŠEVČÍKOVÁ, J., ANDRÁŠ, P., DRIMAL, M. 2022. "The Importance of Environmental Food Quality Labels for Regional Producers: A Slovak Case Study" *Foods*. 11:1013 .
- JAĎUĎOVÁ, J., ŠTASTNÁ, M., MARKOVÁ, I., HRONCOVÁ, E. 2023. "Regional Labelling as a Tool for Supporting Rural Development: A Slovak Case Study" *Agriculture*. 13:1053.
- LEIGHTON, K., KARDONG-EDGREN, S., SCHNEIDEREITH, T., FOISY-DOLL, C. 2021. "Using Social Media and Snowball Sampling as an Alternative Recruitment Strategy for Research." *Clinical Simulation in Nursing*. 55:37-42.
- LOSAVIO, C. 2015. "Marchi regionali di qualità e origine per la tutela e la valorizzazione dei prodotti agroalimentari." *Italian Papers On Federalism Rivista giuridica on-line – ISSiRFA – CNR*. (1-2):1-14.
- PATO, M.L., DUQUE, A.S. 2023. "Traditional agri-food products and sustainability – A fruitful relationship for the development of rural areas in Portugal." *Open Agriculture*. 8:2022-0157.
- REGOLAMENTO DEL MARCHIO IO SONO FVG. 2020. Agrifood FVG. <<https://www.iosonofvg.it/proxyvfs.axd/null/r16539/regolamento-marchio-pdf?ext=.pdf&v=11174>> (consultato il 6 settembre 2023).
- ROJÍK, S., PILAŘ, L., CHALUPOVÁ, M., PROKOP, M. 2017. "Regional labelling systems in Austria: recognition of the So schmeckt Niederösterreich brand among consumer's characteristics." *Agrarian Perspectives XXVI. Competitiveness of European Agriculture and Food Sectors, Proceedings of the 26th International Conference, 13-15 September 2017 Prague, Czech Republic*. 2017. Vol 1:321-326.
- SADÍLEK, T. 2019. "Benefits of regional food quality labels for Czech producers." *International Journal on Food System Dynamics*. 10:195-205.
- SANTERAMO, F.G., MANNO, R., TAPPI, M., LAMONACA, E. <https://orcid.org/0000-0002-9242-9001>2022. "Trademarks and Territorial Marketing: Retrospective and Prospective Analyses of the trademark Prodotti di Qualità." *Economia Agro-alimentare/Food Economy*. 24:1-37.
- SCARPA, R., RUTO, E.S.K., KRISTJANSON, P., RADENY, M., DRUCKER, A.G., REGE, J.E.O. 2003. "Valuing indigenous cattle breeds in Kenya: an empirical comparison of stated and revealed preference value estimates." *Ecological Economics*. 45:409-426.

- SILLANI, S., BELLETTI, P.A. 2013. "I marchi territoriali e le preferenze dei consumatori di miele." In *I sistemi rurali di fronte ai mutamenti dello scenario economico globale*, a cura di Francesco Marangon e Stefania Troiano, 177-186, Udine: Forum.
- TREGGAR, A., ARFINI, F., BELLETTI, G., MARESCOTTI, A. 2007. "Regional foods and rural development: The role of product qualification." *Journal of Rural studies*. 23:12-22.
- TROIANO, S., MARANGON, F., TEMPESTA, T., VECCHIATO, D. 2016. "Organic vs local claims: substitutes or complements for wine consumers? A marketing analysis with a discrete choice experiment." *New Medit*. 2:14-21.
- TUDOROV, N. 2018. "Il marchio di qualità regionale AQUA e le sfide future." *Notiziario ERSA* 2018/2:55-56 <http://www.ersa.fvg.it/export/sites/ersa/aziende/informazione/notiziario/allegati/2018/2/15_AQUA.pdf> (consultato il 22 settembre 2023).
- VAN ITTERSUM, K., MEULENBERG, M.T.G., VAN TRIJB, H.C.M., CANDEL, M.J.J.M. 2007. "Consumers' appreciation of regional certification labels: A pan-European study." *Journal of Agricultural Economics*. 58:1-23.

Indagine sulle attitudini dei consumatori residenti in Sardegna all'acquisto di prodotti locali

Giusy Lai

Università degli Studi di Sassari

Gavina Manca

Università degli Studi di Sassari

Giacomo Del Chiappa

Università degli Studi di Sassari

ABSTRACT

Nell'ultima decade il cambiamento negli stili di vita alimentari ha comportato maggior attenzione verso forme di consumo che in qualche misura contribuiscono ad aumentare i livelli di sostenibilità economica, ambientale e socio-culturale. A questo proposito, si è assistito alla crescita di un movimento di persone, definito con il neologismo inglese *locavorism*, che predilige l'acquisto di prodotti locali. Con l'obiettivo di soddisfare al meglio i bisogni di questi consumatori, nelle regioni italiane si sono portate avanti diverse iniziative tra cui, ad esempio, lo sviluppo del mercato dei prodotti a KM 0 e a filiera corta. Per meglio comprendere le attitudini e la propensione ad acquistare prodotti locali da parte di consumatori residenti in Sardegna, nonché i limiti all'espansione del mercato di tali prodotti, si è svolta un'indagine qualitativa di tipo esplorativo (interviste in profondità). I risultati hanno evidenziato che gli intervistati prediligono il consumo di questi prodotti principalmente perché li ritengono più genuini e salubri di quelli industriali, oltretutto per favorire l'economia delle aziende agricole della regione. La necessità di ridurre l'impatto ambientale dei sistemi alimentari non è ancora tra le principali motivazioni che inducono il consumatore residente in Sardegna ad acquistare produzioni alimentari locali. Inoltre, lo studio ha evidenziato che i principali ostacoli per questa categoria di consumatori è il prezzo dei prodotti locali, considerato talvolta troppo alto, e la difficoltà a reperirli sul mercato. I risultati dello studio forniscono utili indicazioni a produttori e istituzioni pubbliche impegnati nella formulazione di strategie e programmi per la promozione dei prodotti locali.

PAROLE CHIAVE: comportamenti del consumatore, locavorism, prodotti alimentari sostenibili

1 Introduzione

I profondi cambiamenti degli stili di vita avvenuti negli ultimi decenni, ha influito anche sulle scelte dietetiche dei consumatori che sempre più prediligono un'alimentazione biologica e salutista (rapporto COOP

2021). In questo contesto è cresciuta la ricerca di prodotti locali e di stagione, a beneficio delle eccellenze dei nostri territori. Queste tendenze hanno dato origine ad un movimento chiamato con il termine inglese *locavorism*, definito da de Bres (2016) come la pratica di acquistare e consumare cibo coltivato entro una distanza relativamente breve dalla propria posizione attuale. Per venire incontro a queste esigenze, in tutte le città italiane si è assistito alla crescita del mercato dei prodotti a Km 0 e a filiera corta ed alla diffusione di iniziative per favorirne il commercio. La qualità dei prodotti locali viene generalmente considerata superiore rispetto ai prodotti industriali in termini di genuinità freschezza e salubrità, ma ad essi sono attribuiti anche valori etici legati ad aspetti ambientali e sociali (Carson, 2022: 265-281; Feldmann & Hamm, 2015: 152-164). Questi alimenti sono meno inquinanti in quanto, essendo prodotti a breve distanza (70-200 Km) dal luogo di vendita, le emissioni di gas ad effetto serra dovute al trasporto, ai processi di refrigerazione ed agli imballaggi per il loro contenimento, si riducono fortemente (Seyfang, 2006). Un notevole vantaggio, se si considera che il trasporto dei prodotti alimentari rappresenta quasi un quinto di tutte le emissioni di gas serra del sistema agroalimentare, nonché una parte considerevole dell'inquinamento acustico urbano (Codignola 2023). Un altro importante valore connesso all'acquisto e consumo di prodotti locali riguarda il benessere delle comunità locali e lo sviluppo delle aree territoriali (Schoolman, 2019). L'economia regionale può quindi trarre benefici dal sostegno alle piccole imprese la cui crescita può favorire nuova imprenditorialità e innovazione. Considerata l'importanza di valorizzare e promuovere i prodotti a chilometro zero e filiera corta, favorirne il consumo e garantire un'adeguata informazione al consumatore sulla loro origine e specificità, in Italia è stata emanata la Legge 17 Maggio 2022, n. 61 che, oltretutto dare precise definizioni dei due termini, dispone norme relativamente alle iniziative per promuovere la domanda e l'offerta dei prodotti agricoli locali ed inoltre, stabilisce l'istituzione di loghi per la loro identificazione. Sulla base di tutti i vantaggi che lo sviluppo del mercato dei prodotti locali comporta è importante capire quali fattori possono favorire o limitare l'ampliamento di questo mercato in Sardegna. A questo scopo è stata effettuata un'indagine per individuare le principali motivazioni che spingono i consumatori residenti in Sardegna a comportarsi da *locavore*. Tali conoscenze possono essere utili per dare indicazioni ai produttori nel definire opportune strategie di marketing ed alle istituzioni pubbliche per pianificare programmi per la promozione dei prodotti locali.

2 Metodologia

Lo studio, per il quale si è adottato un approccio di tipo qualitativo, è basato su 20 interviste. Il numero degli intervistati ha consentito di rag-

giungere la data saturation (Patton, 2002; Saunders & Twonsed, 2016), ossia quel numero in corrispondenza del quale aggiungere nuove interviste non risulta fornire informazioni aggiuntive rispetto al fenomeno indagato. Le interviste sono state effettuate utilizzando un protocollo sviluppato sulla base della letteratura nazionale e internazionale sul tema. Tutte le interviste sono state realizzate di persona o tramite l'ausilio di piattaforme online. La scelta degli intervistati è stata fatta in modo che il profilo sociodemografico fosse eterogeneo. Nello specifico, sono stati intervistati uomini e donne inseriti in tre fasce di età dai 18 ai 34 anni, dai 35 ai 54 anni e maggiore di 54, con un livello di istruzione e situazione lavorativa abbastanza variegati. Le persone da intervistare erano conoscenti degli autori o individuate attraverso un GAS (gruppo di acquisto solidale) nella città di Alghero con l'aiuto dei social media.

La prima domanda mirava ad identificare e selezionare i consumatori che rientravano nella categoria *locavore*. Si è proseguito con l'intervista solo con coloro che, dopo la spiegazione del significato del termine, si consideravano appartenenti alla categoria. L'intervista è stata suddivisa in due parti. La prima parte includeva 8 domande aperte generali finalizzate a comprendere le principali motivazioni alla base del comportamento da *locavore*. Si è cercato di identificare il contesto che ha portato a queste scelte e le principali ragioni e benefici di acquistare locale. Alcune domande avevano come scopo la comprensione delle barriere eventualmente incontrate nel comportarsi da *locavore* e degli effetti positivi e negativi che gli intervistati percepivano come conseguenti all'adozione di tale comportamento. Infine si è voluto capire se gli intervistati si comportano da *locavore* solo nel paese di residenza o anche quando viaggiano. Nella seconda parte, i rispondenti sono stati invitati a fornire una serie di generalità tra cui il sesso, l'età, il livello di istruzione e la situazione lavorativa.

3 Risultati

La tabella 1 fornisce informazioni generali sul profilo dei partecipanti che hanno preso parte allo studio. Il 60% degli intervistati sono di sesso femminile ed il 40% di sesso maschile con un'età compresa tra i 25 e 86 anni. Riguardo al livello di istruzione il 35% è laureato, il 30% ha un diploma e la restante parte è in possesso di licenza media. Anche lo status professionale risulta piuttosto eterogeneo.

Intervistato	Genere	Età	Livello di istruzione	Situazione lavorativa
ID 1	Maschile	61	Diploma	Pensionato (ex impiegato)
ID 2	Femminile	55	Licenza media	Operatore socio-sanitario
ID 3	Femminile	53	Diploma	Impiegata
ID 4	Maschile	26	Diploma	Corriere
ID 5	Femminile	45	Laurea	Insegnante
ID 6	Maschile	32	Laurea	Nutrizionista/ Insegnante
ID 7	Femminile	64	Diploma	Pensionata (ex impiegata)
ID 8	Femminile	39	Licenza media	Operatore socio-sanitario
ID 9	Femminile	52	Diploma	Insegnante Scuola Primaria
ID 10	Maschile	53	Licenza Media	Assistente disabili
ID 11	Maschile	42	Laurea	Professore Universitario
ID 12	Maschile	43	Laurea	Professore Universitario
ID 13	Maschile	68	Laurea	Ingegnere
ID 14	Femminile	64	Diploma	Insegnante
ID 15	Femminile	38	Laurea	Farmacista
ID 16	Femminile	31	Laurea	Nutrizionista
ID 17	Maschile	31	Licenza Media	Cameriere
ID 18	Femminile	62	Licenza media	Collaboratore Scolastico
ID 19	Femminile	86	Licenza media	Pensionata (ex cuoca)
ID 20	Femminile	58	Licenza media	Casalinga

Tabella 1 – Profilo degli intervistati

Le principali motivazioni, barriere e controindicazioni che vengono associate al consumo di prodotti locali e, inoltre, gli elementi di contesto che maggiormente hanno inciso sulla scelta di diventare *locavore* sono riassunti nella tabella 2.

Motivazioni	Salubrità dei cibi, sapori, attenzione alla salute, sostegno comunità locali ed economia, riduzione degli impatti ambientali
Contesto	Abitudine familiare, problemi di salute
Barriere	Scarsa copertura distributiva, prezzi elevati, mancati controlli nelle produzioni locali
Controindicazioni	Chiusura del mercato globale

Tabella 2 – I driver dei locavore

Una delle motivazioni più ricorrenti che spinge all'acquisto locale è il sapore e la freschezza dei prodotti, in quando i rispondenti sono fermamente convinti del fatto che i cibi prodotti nella prossimità delle loro case, conservino intatto il loro sapore naturale, non contengano conservanti, additivi e altre sostanze artificiali. Tutti gli intervistati erano consapevoli che i cibi con contaminazioni chimiche, fisiche e biologiche possano essere dannosi per la salute.

Acquisto prodotti locali principalmente per me stesso, la mia salute, i loro sapori la loro freschezza, la provenienza certa, l'assenza di OGM, poiché a mio avviso i prodotti industriali prediligono la quantità ma hanno una qualità più scarsa, anche se ormai credo fermamente che la pericolosità del cibo non è mai al minimo in quanto l'ambiente che ci circonda è completamente contaminato (ID 4).

Una seconda ragione è la qualità e sicurezza dei prodotti, si dovrebbe un po' abbandonare l'idea che se le cose sono prodotte all'estero siano qualitativamente superiori, io da piccolo ho assistito al disastro in Ucraina dell'esplosione della centrale nucleare di Chernobyl e ricordo che a scuola ci avevano messo in guardia su prodotti che dovevamo completamente evitare e che un prodotto derivante dall'estero in questo specifico caso non era solo qualitativamente inferiore ma dannoso per la nostra salute. La nostra generazione ha vissuto anche il disastro della mucca pazza, per cui siamo più consapevoli del fatto che non sempre i prodotti derivanti dall'estero, anche se si tratta di no-

stri partner politici o geografici, siano superiori a quelli prodotti sotto casa (ID 12).

La prima cosa che mi viene in mente quando penso all'acquisto locale è la salubrità dei prodotti; sono più salubri perché creati vicino a casa e seguono la stagionalità. Ma, esiste una certificazione che mi attesti la veridicità della salubrità dei prodotti? No, è tutto basato sulla fiducia verso il contadino (ID 1).

In accordo con i risultati di studi riguardanti i *locavore* di altre regioni italiane (Annunziata & Scarpato, 2014: 265-281), un'altra motivazione fondamentale che spinge i residenti in Sardegna ad acquistare cibi locali, è l'importanza di dare sostegno all'economia locale. Risulta fondamentale supportare contadini e produttori che basano la loro attività sulla produzione locale, in modo da offrire loro un'opportunità di crescita, permettergli di sviluppare e affinare le proprie capacità ed inoltre, trarre un adeguato reddito. Gli acquisti locali hanno indubbiamente effetti positivi sull'economia del territorio in termini di creazione di nuovi posti di lavoro, di generazione di occasioni di reddito per le piccole imprese e, infine, di rafforzamento del senso di appartenenza alla comunità. Si creano in questo modo esperienze personalizzate di servizio al cliente e la fornitura di beni e servizi non disponibili altrove. Inoltre l'acquisto locale contribuisce a ridurre l'impatto ambientale riducendo la produzione di rifiuti, di energia e di emissioni in aria.

Acquistando locale mi sento eticamente più corretto poiché credo fortemente che la produzione locale rispetti i diritti degli animali, i diritti umani, punta alla riduzione degli impatti ambientali. Inoltre, vivendo in Sardegna credo fermamente al sostegno dei piccoli imprenditori, per riuscire a creare una nostra stabilità economica che permetta di avere nuove ricchezze, nuovi posti di lavoro e un legame più forte tra i sardi (ID 3). L'acquisto locale lo pratico principalmente per due ragioni una di queste è di tipo empatico ed emotivo: penso che se si riescano a stabilire dei rapporti con chi produce gli alimenti sicuramente ti senti più gratificato nell'acquisto in quanto nel tuo piccolo hai fatto un gesto che aiuta il territorio in cui vivi, per motivi strettamente etici credo che sia un atteggiamento che dovremmo considerare un po' tutti.

L'acquisto locale credo sia un'esternalizzazione della volontà di esaltare le tradizioni della mia terra, riconoscere alla tradizione culturale della realtà dalla quale provengo, la singolarità, la specificità dei prodotti. Inoltre, è anche una comodità in quanto è più semplice trovare prodotti caratterizzanti la

tradizione locale piuttosto che ricercare prodotti di tradizioni esterofile (ID 11).

Acquisto prodotti locali anche perché credo che la mia regione abbia bisogno di un sostenuto aiuto per l'economia, la mia regione si trova da sempre in forte difficoltà economica, quindi se noi cittadini acquistiamo anche prodotti esteri o fuori regione non siamo per niente d'aiuto (ID 13).

Credo fortemente nel sostegno dei piccoli imprenditori, in modo tale da far girare l'economia nel nostro paese per generare nuove ricchezze, nuovi posti di lavoro e un legame più forte tra i sardi (ID20).

Ci tengo molto ad acquistare prodotti locali per aiutare l'economia sarda, vista la difficile situazione mi sento soddisfatta nel consumare prodotti della mia terra, inoltre abitando su un'isola vorrei che, per quanto possibile, riuscissimo ad essere il più autonomi possibile soprattutto economicamente (ID 5).

Alla domanda quando hai iniziato a comportarti come *locavore*? la maggior parte dei rispondenti è orientato alla risposta: *sono stato abituato dalla mia famiglia a prediligere il locale*, ma ci sono anche motivi personali. I consumatori sono molto legati alle proprie tradizioni, infatti la maggior parte dei rispondenti portano avanti la tradizione di famiglia nel consumo dei prodotti locali che sono espressione del legame con la propria terra e, quindi, della loro identità.

Non esiste un evento particolare che mi ha 'trasformato' in locavore, seguo questa tendenza da quando vivevo a casa con i miei, che utilizzavano l'acquisto locale tanto per motivi etici quanto per comodità.

Altri rispondenti sottolineano di aver iniziato a comportarsi come *locavore* per problemi di salute legati all'alimentazione, altri per aver approfondito gli studi sui prodotti alimentari e i loro ingredienti.

Ho espresso un atteggiamento da locavore ancora più convinto quando ho iniziato a lavorare come nutrizionista. Nel mio percorso di studi ho fatto molti studi sui cibi, sui nutrienti e anche sugli aspetti negativi del cibo stesso. Sono sempre più convinto dell'importanza di seguire queste filiere di prodotti, per me stesso e per i miei pazienti. Lo utilizzo anche come metodo per differenziarmi dalla concorrenza in quanto indirizzo proprio i miei clienti ad acquistare determinati prodotti inse-

rendoli nel loro piano alimentare. Ancora, credo fermamente nei prodotti locali da quando svolgo il lavoro di 'libero professionista' perché mi sono reso conto che è davvero importante che ci si aiuti tra di noi per sostenere l'economia (ID 16).

Sono sempre stata tendente ad acquistare prodotti locali per il loro gusto, ma ho iniziato a seguire il locavorismo con la massima convinzione più o meno 10 anni fa, quando ho avuto problemi di allergie legati all'alimentazione che mi provocavano problemi allo stomaco ogni qual volta mangiavo un prodotto troppo trattato o con eccessive dosi di conservanti e pesticidi (ID 2).

Ho cambiato il mio stile alimentare all'incirca sei anni fa, ci tengo a precisare che non essendo sardo sono sempre stato un locavore affermatissimo della mia terra, la Campania. Da quando mi sono trasferito in Sardegna avevo un po' abbandonato l'idea di acquistare il locale, in quanto ero abituato a tradizioni e sapori diversi, fino a quando non mi sono reso conto che acquistando determinati prodotti al supermercato, come la verdura di origine non sarda e spesso e volentieri nemmeno italiana, mi facevano star male, mi provocavano problemi di digestione e non solo. Per questo la mia nutrizionista mi aveva consigliato di provare la verdura a km 0, io ero molto scettico all'idea, ma per curiosità ci ho provato e da quel momento non ho più abbandonato l'acquisto della verdura dal mio agricoltore di fiducia, evidentemente esiste una qualche differenza reale tra le due produzioni (ID 10).

Il mio comportarmi da locavore è iniziato gradualmente, ma si è rafforzato quando ho avuto la mia prima gravidanza, in quel caso è accresciuta la mia convinzione che i prodotti locali siano sinonimo di genuinità. Inoltre da quando mi sono trasferita a vivere in un piccolo paese, ho avuto più contatti con pastori, agricoltori e persone che vendono prodotti di propria produzione, mentre vivendo in una città, come Sassari, non c'è questa possibilità (ID 9).

Alla domanda se incontrano delle barriere nel riuscire a comportarsi da *locavore*, i rispondenti affermano che una delle maggiori difficoltà è la scarsa reperibilità dei prodotti nei diversi canali di distribuzione. Un altro problema evidenziato riguarda i prezzi molto alti.

Una delle barriere abbastanza limitanti l'acquisto dei prodotti locali è la scarsità dei luoghi in cui avviene la distribuzione.

Per poter acquistare i prodotti locali strettamente vicini al mio paese devo aspettare il mercatino una volta alla settimana, quindi sono costretto ad acquistare grandi quantità di alimenti che devo conservare in frigo almeno una settimana. I negozi specializzati che vendono prodotti locali sono quasi inesistenti... pertanto ci dobbiamo recare nei supermercati che non sempre vendono produzioni locali. Si dovrebbero quindi creare adeguati canali di distribuzione (ID 8).

Una delle barriere non poco significative sono i prezzi. Purtroppo, i prodotti locali hanno dei prezzi molto elevati, che a volte sono quasi il doppio il doppio di quelli industriali acquistati nella grande distribuzione. Io, e credo anche altre persone, spesso sono costretto ad evitare o limitare l'acquisto di determinati prodotti a chilometro zero (ID 7).

Un altro limite è rappresentato dalla difficoltà ad avere garanzia sulla provenienza e qualità di tali prodotti non riuscendo spesso a creare dei rapporti di fiducia solidi con i contadini/ produttori.

Quella che sto per esporre non la definirei una vera e propria barriera, piuttosto dei dubbi personali. È chiaro che riporre la propria fiducia in un contadino locale porta ad avere qualche dubbio. La grande distribuzione predilige la quantità piuttosto che la qualità, ma chi ci dice che il piccolo contadino o allevatore producano veramente prodotti di qualità non avendo alcun controllo? Si sa i supermercati garantiscono standard di qualità che devono rispettare per legge, mentre il piccolo li rispetta davvero? La carne deriva veramente da animali sani e correttamente nutriti? O ancora questi sono abbattuti in maniera corretta? Questi dubbi continuano ad esserci sempre! L'unico modo per poter superare questo limite è quello di creare rapporti di fiducia con chi fornisce i prodotti a chilometro zero talvolta mostrando ai consumatori come tratta le proprie piante, il suo bestiame e il suo modo di condurre l'impresa (ID 15).

Di fronte alla domanda, se il locavorismo potrebbe portare effetti negativi per qualcuno, tutti gli intervistati rispondono negativamente in quanto si tratta di uno stile alimentare che va a supportare le comunità locali, è positivo per la salute, educa al rispetto della stagionalità e fa riscoprire eccellenze dei singoli territori.

No, anzi, porta solo effetti positivi, migliora la salute, aiuta

l'economia locale poiché non è necessario creare una rete logistica di trasporto che chiaramente impatta sull'ambiente, ecc...

Qualcuno degli intervistati ritiene che il locavorismo possa avere anche negativi. Così come la globalizzazione ha cambiato completamente lo stile di vita di tutte le persone, se anche il locavorismo dovesse diventare dominante come la globalizzazione si avrebbero anche in questo caso effetti collaterali. L'effetto dominante sarebbe la chiusura del mercato e la riduzione delle importazioni dall'estero. Questo atteggiamento potrebbe portare al crollo dell'economia di quei paesi che vivono dalle esportazioni.

Se analizziamo bene, anche in questo scenario possono esistere delle controindicazioni. Mettendo caso che lo scenario del locavorismo diventi imperante, come è stato quello del globalismo negli ultimi 50 anni, in questo caso estremo potrebbe succedere che ogni paese si chiuda in sé stesso acquistando solo cose prodotte nell'immediato circondario e rinunciando a molti altri prodotti. Questo porta a delle situazioni di accesa competitività e poca cooperazione tra i paesi, inoltre essendo di fronte ad un decremento della popolazione, il numero di persone che acquistano i prodotti diminuisce. Quindi si va a chiudere il mercato e le relazioni tra i diversi paesi. La vita degli abitanti di quei paesi che vivono principalmente di esportazioni subirebbe un notevole peggioramento, perché quando si tocca il mercato inevitabilmente si va a toccare la vita delle persone (ID 12).

L'ultima domanda (tendi a comportarti da *locavore* solo nel tuo paese di residenza o anche quando viaggi in contesti stranieri?) mirava a testare il vero atteggiamento da *locavore* dei rispondenti.

Sono numerosi gli intervistati che consumano cibi locali anche fuori dalla propria regione e che quindi, li considera un elemento d'identità culturale. Ritengono il cibo importante per conoscere la cultura e le tradizioni di un popolo.

È un atteggiamento che tendo a mantenere sempre, per una curiosità e il desiderio di approcciare a esperienze culturali tipiche dei luoghi che frequento, mi oriento ad identificare dei prodotti che possono essere caratterizzanti dei luoghi che sto visitando (ID 14).

Quando viaggio in contesti diversi dipende, se mi sento relativamente sicuro sono anche curioso di scoprire delle cose

quindi mi sottopongo a esperienze diverse, sul territorio nazionale i problemi non esistono, mentre se si parla di altri continenti in quel caso credo che, nonostante rispetto ogni tradizione, non mi sentirei di provarle (ID 12).

Sono una locavore nell'anima, quindi il posto non fa differenza, paese che vai usanza che trovi e tutti dovremmo capire che ogni posto ha una ricchezza enogastronomica da offrire e non deve essere in nessun modo persa (ID19).

Quando viaggio in luoghi diversi amo assaggiare i prodotti tipici di ogni posto e perché no confrontarli con quelli prodotti in Sardegna, perché come esistono eccellenze nella regione Sardegna ne esistono in tutte le altre e quindi sono curioso di assaggiare tutte le tradizioni perché devo ammettere che forse l'Italia è uno dei paesi che produce una varietà di eccellenze, e inoltre penso che così facendo contribuisco nel mio piccolo a quella che è l'economia locale di quel posto, e se anche tutte le persone che visitano la Sardegna si comportassero così sarebbe una grossa mano per la nostra isola (ID 1).

Sono favorevole all'assaggio dei prodotti tipici di ogni luogo, ne sono l'esempio io stesso, quindi sono propenso ai sapori locali di qualsiasi luogo da me visitato (ID18).

Al contrario una minoranza di rispondenti adotta comportamenti opportunistici:

Mi definisco un locavore solo nel mio paese, quando visito altri luoghi consumo prodotti classici, non assaggio la cucina locale, sono scettico sulle altre tradizioni (ID 17).

Sono un locavore un po' per convenienza. Nel mio Erasmus all'estero, nonostante assaggiassi qualche prelibatezza del posto, la mia abitudine era quella di farmi spedire dalla mia famiglia i prodotti sardi e inoltre, quando uscivo a fare la spesa ricercavo maggiormente quelli italiani (ID 6).

4 Conclusioni

Questo studio qualitativo è stato realizzato su consumatori residenti in Sardegna che appartengono alla categoria dei *locavore* con lo scopo di individuare le principali motivazioni alla base di questo atteggiamento. La principale ragione che spinge verso l'acquisto di cibi locali è legata alle caratteristiche di genuinità e salubrità che vengono attribuite a questi prodotti

e che rappresentano i principali punti di forza delle produzioni locali isolate. La buona reputazione delle produzioni sarde potrebbe però non essere sufficiente perché queste continuino ad essere un'attrattiva per il consumatore, in quanto, come espresso da alcuni intervistati, può sorgere il dubbio che il contadino locale sottoponga la sua produzione ai controlli necessari per garantire il rispetto dei requisiti previsti dalla legge e per assicurarne la provenienza. Pertanto, per poter ampliare il mercato e giustificare il prezzo più alto, si intravede per il futuro la necessità di sottoporre queste produzioni a processi di certificazione. Un'altra importante motivazione è di tipo etico, infatti, numerosi intervistati ritengono di adottare questo comportamento d'acquisto anche per sostenere l'economia agricola locale, dimostrando un forte impegno verso la propria comunità. La riduzione dell'inquinamento ambientale è per i *locavore* intervistati un aspetto secondario e da molti neanche considerato per motivare le loro attitudini al consumo di prodotti locali. In questo contesto, la mancanza di informazioni sui benefici ambientali legati all'acquisto di questi prodotti potrebbe rappresentare un limite alla diffusione dei modelli di consumo responsabile, fondamentale per contribuire alla riduzione delle emissioni di gas serra, alla promozione della transizione ecologica e, non meno importante, alla mitigazione dei problemi legati al cambiamento climatico. Risulta pertanto necessario che i produttori e le istituzioni pubbliche sensibilizzino maggiormente la popolazione sui vantaggi sociali ed ambientali legati agli acquisti sostenibili e forniscano strumenti di garanzia di qualità e provenienza dei prodotti locali, in modo da poter anche giustificare il prezzo più elevato che rappresenta uno dei limiti all'espansione di questo mercato. Non meno importante, almeno alla luce dei risultati delle interviste, è lavorare per aumentare la visibilità e la capillarità distributiva che questi prodotti hanno sul mercato.

Il lavoro non è privo di limiti. Il primo, è connesso all'approccio metodologico scelto per la sua realizzazione, la sua natura esplorativa e qualitativa non consente, infatti, di generalizzarne i risultati. È auspicabile, quindi, che in futuro i risultati di questo studio siano utilizzati, congiuntamente con quanto previsto dalla letteratura, per la costruzione di un questionario da utilizzare ai fini della realizzazione di uno studio quantitativo che miri ad aumentare la generalizzabilità dei risultati e, possibilmente, ad analizzare l'influenza che le variabili socio-demografiche (genere, età, livello di istruzione, ecc.) e psicografiche (stile di vita, ecc.) possono avere nell'influenzare l'atteggiamento e il comportamento dei consumatori.

Bibliografia

- ANNUNZIATA, A., SCARPATO, D. (2014). Factors affecting consumer attitudes towards food products with sustainable attributes. *The Agricultural Economics (Czech Republic)*, 60, 353-363.
- CARSON, Y. (2022). Should you Buy Local? *Journal of Business Ethics* 176, 265-281.
- CODIGNOLA, A. (2023). Il trasporto degli alimenti causa un quinto delle emissioni legate al cibo. *Il Fatto Alimentare*. <https://ilfattoalimentare.it/emissioni-cibo-trasporto.html> (ultimo accesso 20 settembre 2023).
- FELDMANN, C., HAMM, U. (2015). Consumers' perceptions and preferences for local food: A review. *Food Quality and Preference*, 40, 152-164.
- LEGGE 17 MAGGIO, n. 61 (2022). Norme per la valorizzazione e la promozione dei prodotti agricoli e alimentari a chilometro zero e di quelli provenienti da filiera corta. *GU Serie Generale n.135 del 11-06-2022*.
- RAPPORTO COOP 2021. Economy, consumption and lifestyle of today's Italians. <https://italiani.coop>. Ultimo accesso: 20 settembre 2023.
- SCHOOLMAN, E.D. (2019). Do direct market farms use fewer agricultural chemicals? Evidence from the US census of agriculture. *Renewable agriculture and food systems*, 34 (5), 415-429.
- SEYFANG, G. (2006). Ecological citizenship and sustainable consumption: examining local organic food networks. *Journal of rural studies*, 22, 383-395.

Survey on purchasing methods of food products in different european regions

Agata Matarazzo
University of Catania
Sergio Arfò
University of Catania
Grzegorz Suwała
University of Economics

ABSTRACT

Marketing can make a strategical difference between two companies. It identifies the way to sell a product, emphasizing its characteristics. This paper aims to examine the relationship between green marketing strategy by food companies and consumers shopping behavior. To better analyze principal factors of green marketing tools, their use and advantages are described, highlighting benefits of their application by food companies. The European Organic standard certification process is fully described by a comparison between quality and ecological labels. The European law set different requirements that companies must follow for the implementation of that standard. Furthermore, all these different requirements are described and commented from companies' point of view. The last part of the paper shows data about customer satisfaction obtained by the comparison of the different behavior of the populations living in two cities, Tarragona, located in the east side of Spain, and Catania, located in the south side of Italy. The results are compared with the polish consumers preferences. The survey allows to understand the people attitude in buying food products and how this process is influenced by green marketing techniques. This study allows understanding the new green marketing approach, showing a different point of view useful as a starting point to introduce a new marketing strategy to better face competitors.

KEYWORDS: green economy; survey; food packaging; ecolabel; organic food; Polish consumers, Catania and Tarragona;

1 Introduction

The lean green strategy is one in which the green tends to be applied mainly in the development, design and production of the product at different levels.

The defensive green strategy mostly involves the promotional aspect of the marketing mix, making particular use of softer public relations promotions, rather than explicit tools such as advertising (Milazzo, 2017:119-126).

The defensive green strategy also silently pursues green in the development, design and production of the product. The green shaded strategy puts a second emphasis on green in its most obvious promotional efforts, and pursues green in product development, design and production, as well as pricing to possibly achieve efficiency in the production process with green. Finally, the extreme green strategy involves intensive use of all elements of the marketing mix, including the retail sale, since distribution systems and retailers are chosen and incentivized on the base of their green (Trandafilovic, 2017: 262).

Moreover, in addition to the 4Ps of traditional marketing, the concept of green leads to the development of further social “P”.

1. Public: effective social marketing knows its audience and can attract more groups of people. “Public” are the internal and external groups involved in the program. External audiences include target audiences, secondary audiences, policy makers and gatekeepers, while internal audiences are those who are involved in some way with the approval or implementation of the program.
2. Partnership: most issues related to social change, including “green” initiatives, are too complex to be managed by a person or a group. Joining with other groups and initiatives to put together forces strengthens the possibilities of effectiveness.
3. Policy: social marketing programs can do well to motivate the change of individual behaviour, but it is difficult to sustain unless the long term support of the environment in which they are found. Changes in policies are often necessary and media promotion programs can be an effective complement to a social marketing program.
4. Purse Strings: how much this strategic effort will cost and who is funding the effort (Ginsberg, 2004:81-83).

Clearly, the product area is the most involved through all the strategies. In order to obtain a greener and more sustainable product, companies should follow the 5R approach.

This approach can be integrated into the development phase or later, when consumers already own the product (Bush, 2001).

5Rs	Waste	
	PRE-CONSUMER	POST-CONSUMER
REPAIR	X	✓
RECONDITIONING	X	✓
RE-USE	X	✓
RECYCLING	✓	✓
RE-MANUFACTURE	X	✓

Table 1 – Greener Products: The 5 Rs

Repair: the life of a product can be extended by repairing one or more parts. Repair may represent anything from a short-term to long-term life extension for the product.

Reconditioning: it can be an option when a product is about to fail due to several contributory factors. It involves a complete overhaul of the product to replace worn parts. Reconditioning is a medium-term to long-term life extension for the product.

Re-use: Many products can be re-used, for instance, milk bottles. It may also be possible to design and build products, able of being used more than once, such as stronger plastic bags, although the full environmental costs for their disposal should be considered.

Recycling: It is the process of collecting and sorting used materials, which are then re-processed and turned back into useable raw materials. Many materials are already being recycled, such as paper, glass and some metals.

One of the problems faced by companies who try to ensure that their products are recyclable is that the recycling facilities are often poorly developed. One strategy may be for companies to sponsor recycling collection schemes.

Re-manufacture: This is the process of producing new products from used ones. The product is reworked so as to mend and replace the worn parts. Often a certain amount of virgin material is used to restore the product to its original form, according to some performance criteria (Munda, 2020:1-3).

Unfortunately, a majority of people believe that green marketing refers solely to the promotion or advertising of products with environmental characteristics. Terms like Phosphate Free, Recyclable, Refillable, Ozone

Friendly, and Environmentally Friendly are some of the things consumers most often associate with green marketing. While these terms are green marketing claims, in general green marketing is a much broader concept, that can be applied to consumer goods, industrial goods and even services (Charter, 2017:12-15).



Fig. 1 – The necessary green life cycle approach

The Life Cycle Approach (LCA) described by Jacquelyn A. Ottman in her book “The Newest Rules of Green Marketing” helped to use the proper description for a better communication without misdirection.

During the recent years, these words have been used improperly, so a growing number of international institutions and organizations have become promoters of a correct information environment. The efforts of these bodies have led to a set of standards, aimed at defining the characteristics and requirements that the information should possess to be correct. The International Standard Organization with the group of ISO 14020:2000, defines three kind of ecological labels (Dhar, 2012).

The ISO 14024 identifies the first group of eco-labels, voluntary and based on a multi-criteria system that considers the entire life cycle of the product, that should be certified by an independent body. This includes the European ECOLABEL quality mark.



Fig. 2 – The Ecolabel Logo



Fig. 3 – Mobius Cycle

ISO 14024:2018 environmental labels and declarations – type I environmental labelling – principles and procedures). Then the ISO 14021 identify the second group of eco-labels, based on self-environmental declarations by producers, importers or distributors of products, without the involvement of an independent certification body, i.e. “recyclable”, “compostable”, etc. Finally, the ISO 14025 identify the third and the last group of ecological labels, whose statements are based on established parameters and containing a quantification of the environmental impacts associated with the life cycle of the product, calculated through an LCA system.

They shall be subject to independent control and presented in a clear and comparable form. i.e. “Environmental Product Declarations - EPD”. The EPD is a document providing objective, comparable and credible information on the environmental performance of products and services. Such information shall be for information purposes only and shall not include any assessment method, preference criteria or minimum levels to be met by the environmental performance. Moreover, the EPD uses Life Cycle Assessment, applied in accordance with ISO 14040, as a methodology for identifying and quantifying environmental impacts. It is also applicable to all products or services, regardless of their use or positioning in the production chain; in addition, a classification into well-defined groups shall be made so that comparisons can be made between functionally equivalent products or services can be compared.

This Ecolabel is verified and validated by an independent body that ensures the credibility and veracity of the information contained in the LCA study and the statement (Salomone, 2012).

2 Methodology/sustainable development tools

Corporate Social Responsibility, also known as CSR, corporate awareness and corporate citizenship, is the integration of socially beneficial

programs and practices in the model and culture of a corporation business. CSR aims to increase long-term profits for online and offline businesses allowing them to become more efficient and attract positive attention to their efforts (Giunta, 2018:2-4). The adoption of CSM by companies is the first key point to achieve a good green marketing approach (Ingrao, 2015:4-5). The CSR concept was developed for the first time during the Brundtland report and lately resumed during the United Nations Conference on Sustainable Development (UNCSD). A strong support was given by Herman Daly, university professor, who identified three conditions related to CSR:

- The utilization rate of renewable resources must not be exceeding its regeneration rate;
- The release of pollutants and waste into the environment must not exceed the carrying capacity of the environment itself;
- The stock of non-renewable resources must remain constant over time.

As mentioned above, the CSR is an integration of programs; to achieve and execute these programs there are several useful tools to attain a correct sustainable development.

Command and Control: rather than instruments, they are limits and prohibitions, regulated by the ad-hoc countries and institutions (D'Incognito V 1998: 11-12). These standards are under the direct control of the countries and administrative, and penal sanctions are applied if they are exceeded.

Voluntary Instruments: based on cooperation between public and economic actors, these can be concluded at the community, national or regional level and can take the form of unilateral commitments by private economic subjects (Albonetti, 2002).

Management systems and environmental audit are part of those instruments such as EMAS and ISO 14001, which must evaluate the performances of private institutions (Milazzo, 2017: 1-4).

IPP-Integrated Product Policies: this is the most advanced environmental policy available today in the international field, aiming at continuously improving the environmental performance of products (Sumaedia, 2014:3-7).

The IPP Voluntary tools are:

- a) *EPD - Environmental Product Declaration*: document that provides objective, comparable and credible information on the environmental performances of the product.
- b) It aims to allow at comparisons between products or services performing identical functions;
- c) *LCA - Life Cycle Assessment*: the evaluation of the life cycle of products and services related to the consumption of raw mate-

rials and the consequent potential environmental impacts (Ingrao, 2019:3-6);

d) *EUROPEAN ECO-LABEL*: a tool developed by the European Community for industrial consumer products.

The labelled products that show the European Commission logo are processed according to EU standards by following specific environmental performance criteria (European Parliament, 2009)

e) *GPP-Green Public Procurement*: Purchase by the Public Administration of products with reduced environmental impact, with the double aim of inducing companies to produce goods with better environmental performance and to be an example for all consumers, directing them towards eco-friendly productions sustainable by the other (Binaghi, 2007:4-6)



Fig. 4 – EU certified organic food label

Until now, the concept of organic quality and standards have been described, but what are the correlations with the concept of green and its use? As recalled before, an organic product must contain the 95% of organic ingredients and processed following the principles.

A “green” product is the one that is not harmful to people and environment, made up from recycled materials and made by components recyclable in their turn. A green product has also less impact on the environment throughout its life cycle. This includes its manufacture, transportation, use and end of life. However, unlike the “organic” claim, the “green” designation is not regulated.

The best way to understand if one product is green is to look for a logo, in particular the Eco- Logo, a program developed by the Organization for Economic Co-operation and Development that certifies a degree of biodegradability of the product from the 60% or more. This program, however, is voluntary and not common.

Another difference is that there is no such thing as a 100% green product, since every product will have some degree of impact on the envi-

ronment (such as with raw materials and energy for its manufacture, transportation, packaging, etc.).

On the other hand, a product may well be 100% organic. In other words, an organic product is green, but a green product is not necessarily organic.

3 Food packaging

Packaging used for food is often different from non-food product or industrial packaging. Packaging for food must be compatible with the food product packed inside, and food standards and regulations must be met. For instance, the migration of harmful substances from packaging material in direct contact with food must be avoided.

Thus, materials used for food packaging, handling and storage must be chosen accordingly (Dhar, 2012:11-12).

Sustainable packaging for organic food is characterized by the following criteria:

- Beneficial, safe and healthy for individuals and communities throughout its life cycle;
- Meets market criteria for performance and cost;
- Sourced in a responsible way;
- Sourced, manufactured, transported and tested for its intended use;
- Maximizes the use of renewable or recycled materials wherever possible;
- Manufactured using clean production techniques and best practices;
- Designed to minimize the need for materials and energy;
- Can be recovered and recycled effectively.

The environmental impact can depend on the numbers of intermediaries from production to market. In large distribution, three different levels of packaging are used (Fig. 5):



Fig. 5 – Levels of packaging

The environmental impact of the packaging lifecycle is one of the most important factors taken into account when dealing with organic food.

The environmental implications are as follows:

- The use of finite, non-renewable resources, such as oil;
- The use of natural resources, such as trees and water;
- Energy use, such as in manufacture and transport;
- Emissions to air, such as gases which contribute to climate change;
- Discharges into water, which can be toxic to plants and animals;
- The creation of hazardous waste by-products including ash and leachate;
- Extractive industries and landfill sites which affect natural habitats;
- Transport, pollution and littering which hit the natural amenity value of landscapes.

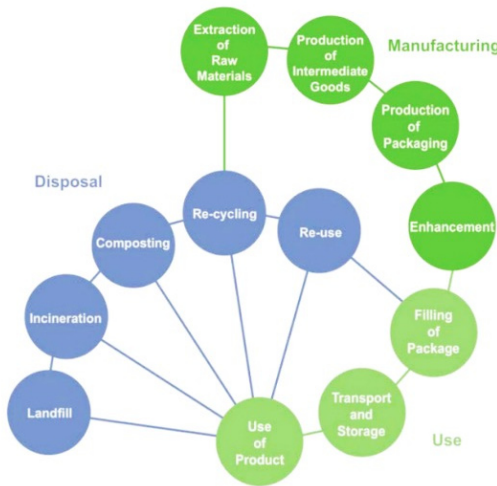


Fig. 6 – Simplifying packaging life cycle

Analyzing the Product Life Cycle is possible to bump into options to minimize the environmental impact. For this purpose, as regard to the primary package, producers may decide to reduce the amount of material used for the production of the package by making boxes thinner and lighter. With respect to the secondary and tertiary packages, producers can use boxes or containers made up by easy-recyclable materials or already made up by those.

They can also decide to use materials obtained by green energy, instead of those obtained by fossils resources, moreover, avoiding plastic when technically not necessary;

“Green” and “Organic” are two roads that go parallels until they meet. When it happens, the result is a final product healthy for human beings and safe for the environment. These two concepts are extremely important for consumers, and they have to be clearly defined and not confused.

On a financial level, it is important to highlight that a reduction in the raw material involved in the life cycle of a product can be often considered a saving in the production process for the company. Being eco-friendly allows companies to double their grow up: firstly, for the involvement demonstrated to the public in order to get a better reputation.

Secondly, from an economic point of view, because savings mean a higher profit rate and the adoption of green standards allows the company to be more proactive preventing future costs derived by future compulsory adjustment.

Green marketing helps more in the first opportunity for growth, using all the good practices carried on by the company.

Thanks to the advertising that highlight them properly and makes them appreciated by consumers, companies can appear green as they are, and increase their position in all their market segments.

4 Presentation of the Study

This section describes what criteria customers take into consideration when buying food, by comparing customers living in two similar cities located in different geographical areas. The survey was conducted in Catania as regard to Italy, and in Tarragona as concerned to Spain. First the two cities are described and compared. Then the method employed is shortly described, the survey results are matched and compared. The Mediterranean area has always been characterized by a strong predisposition to innovation, but with a continuous look to tradition. This area has been the object of conquests, discoveries, traditions and culture handed down over the centuries. Catania, located in the south of Italy, more precisely in the Sicily Island, and Tarragona, located in the north-east of Spain, are two provinces with many common characteristics, but different from some point of view.

The comparison between Catania and Tarragona is not accidental, resulting as a combination between the cultural and geographical characteristics of the area in which they arise.

The people living in both cities have the same Mediterranean diet;

they assume significant quantity of carbohydrates, so due to their main usual dishes, such as “Paella” regarding Tarragona and “Arancini” as regard to Catania. Another matching point concerning typical food is the use of snails that are commonly prepared and eaten in both cities.

Those two cities, although located in two different parts of Europe, are more similar than is possible to think, due to their history and the common roman culture roots. From February to June of the 2019, people’s opinions were collected and compared to each other. Habits of Tarragona and Catania have a lot of matching points. People who were interviewed in Tarragona often expressed similar opinion to those living in Catania. Due to these collected results, an interesting comparison was made, achieving important conclusions that are presented in this section. Web forms have been used to collect survey data. They have been chosen because of their flexibility and their easy management to make comparisons easier and to show the differences between the two cities as best as possible. Moreover, people nowadays spend most of their time using mobile or connected devices. A web form is the easiest way to reach people attention, paper-based forms indirectly affect the perception of analysis.

During the survey were used different kind of ways to answer questions such as: multiple choices answer, scale value answer and open answer. The structured survey has the goal to direct the subject from general questions to the specific goal of the survey in itself. Scale value system has been used because of its easy use. By using this method people have to decide between to opposite concepts, using a scale value.

Open questions that have been asked were direct and with low risk of misunderstanding. The results were quite homogeneous in all the answers. Thanks to the approach that has been used the cross comparisons was easy to be performed and displayed in order to have the clearest picture as possible. The population considered was heterogenous, in fact the survey has been conducted without any limits to all the population to analyze different behaviors. Starting from the data collected different results can still be obtained. The different combination of the data can illustrate other and different point of view.

5 Results and Discussion

The survey was aimed at analyzing the way costumers purchase food products in the areas of Tarragona and Catania.

Web forms have been used to collect survey data.

They have been chosen because of their flexibility and their easy management to easily make comparisons and to show the differences be-

tween the two citizens answers as best as possible. Moreover, people nowadays spend most of their time using mobile or connected devices. A Web form is the easiest way to reach people attention; paper-based forms indirectly affect the perception of analysis. During the survey, different kind of ways to answer questions were used such as: multiple choices answer, scale value answer and open answer.

The structured survey has the goal to direct the subject from general questions to the specific goal of the survey. Scale value system has been used because of its easy use. By using this method people must decide between to opposite concepts, using a scale value. Open questions that have been asked were direct and with low risk of misunderstanding. The results were quite homogeneous in all the answers. Thanks to the approach that has been used the cross comparisons was easily performed and displayed to have a picture as clear as possible. The survey was based on the type of shops attended by costumers, the attitude to avoid plastic packaging and on their thoughts about the usefulness of those. Moreover, it was asked if people prefer seasonal food and how much they care about choosing those or not. Lately the survey has analyzed how the influence of brand, price, quality and familiarity of the product are able to influence the process of purchasing food products.

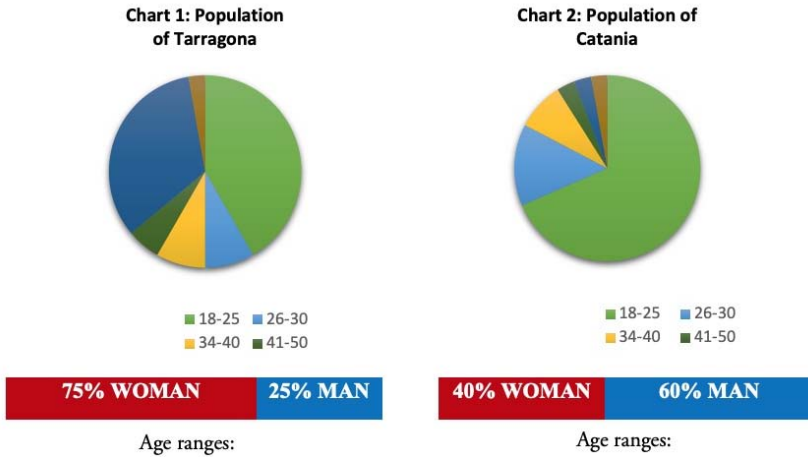
Finally, the organic logo has been shown to people and it has been asked if they knew something about it and if they did to describe the meaning. The survey has allowed to understand how marketing is important and how people react to the presence of a green certification such as the organic label. The survey has been conducted throughout a heterogeneous population, analyzing different ages to obtain different kind of results and to have the possibility to compare different population classes with different ages.

Both, Tarragona and Catania, has a prevalence of young people population, this helped us to understand the new generation attitude and allowed us to make forecast.

The survey was designed to know the type of shops visited by costumers, their attitude to avoid plastic packaging and their thoughts about the usefulness of those.

Moreover, people were asked about their preference with respect to seasonal food and how much they care about choosing those or not. Additionally, the survey has analyzed how the influence of brand, price, quality and familiarity of the product are able to influence the process of purchasing food products. Finally, the organic logo has been shown to people and it has been asked if they knew something about it and if they were able to describe its meaning. The study has allowed to understand how marketing is important and how people react to.

5.1 Shops

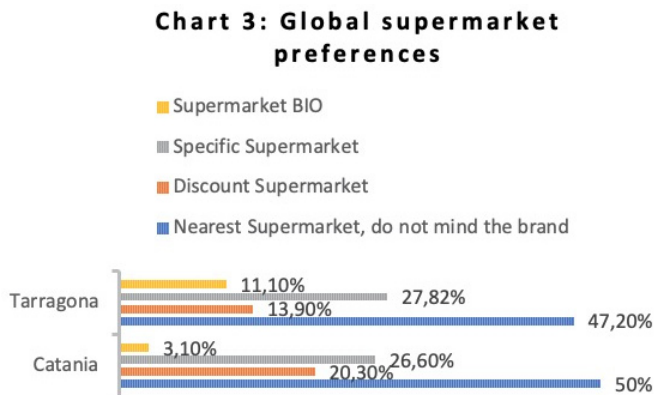


Source: elaboration of personal survey

The first question asked to the interviewee was about the shops where they usually buy food products.

This question was relevant to understand the level of attention given to purchase process of food products.

Moreover, it is a useful data also to understand the relationship between the store fidelity of consumer, across different age ranges.



Source: elaboration of personal survey

As the Chart 3 shows, people prefer to go shopping to the nearest available supermarket and this shows that people do not like going around buying products.

It should be noted that inhabitants of Tarragona are more attentive to bio-food, while those of Catania prefer to savings. Results that are more interesting appear when comparing age ranges of the population with the supermarket preferences (Matarazzo, 2015:11-12).

Chart 4: Age ranges and preferences of Tarragona Population

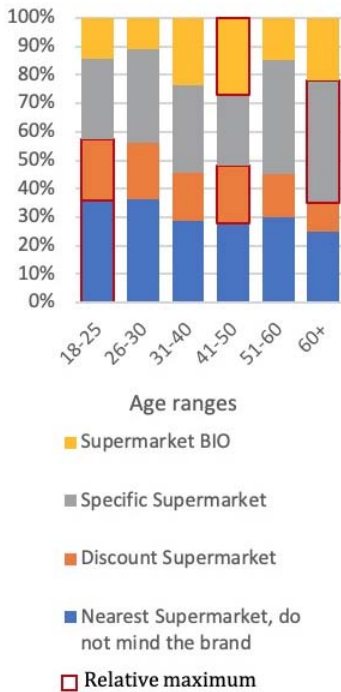
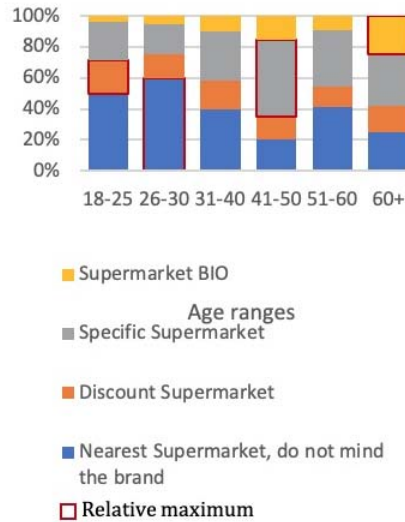


Chart 5: Age ranges and preferences of Catania Population



As charts 4 and 5 show, people in almost all age range prefer the nearest or the specific (and favourite) supermarket. As regard the specific trends of Tarragona population of the individual preferences, is possible to see that the higher frequency of BIO supermarket arises from the third class (31-40) to the last one (60+), while the same value is very low in the first two (Matarazzo, 2021:1-3).

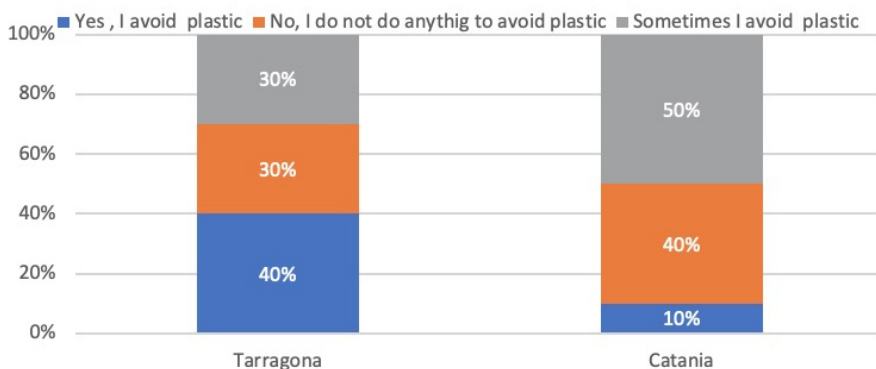
The specific and the nearest supermarket are the preferred ones,

even if the last one decreases with increasing age classes. Discounts values are stable almost in all age ranges, with a small percentage decrease on them. Speaking of specific trends of Catania, it is possible to see how the main values registered are in favor of specific and nearest supermarket. People of the first two age classes prefer the nearest supermarkets, while for the specific supermarket, the main percentage registered is from the third class, the highest one, to the last one. The Discount markets values are holding steady here too, even if their total percentage is lower than the value found in Tarragona (figure. 3). As concern the Bio supermarket values, the chart 5 shows an irregular increasing trend, stopped by the 51-60 age class. It is interesting to notice how Bio supermarket trends roughly speaking in both cities increase with the age of population. The main difference between the two cities is the total value of Bio supermarket users that is globally higher in Tarragona than in Catania. Similar research was conducted in Poland, where discount shops were the most popular choice. According to the respondents' declarations, it is in these shops that 70% of Poles most frequently buy food. Discount stores are most popular among people from small towns (up to 20,000 inhabitants), where 78% of respondents opted for such shopping. According to the CBRE survey, for most people, distance from home is important when choosing a shop for grocery shopping.

Regardless of the preferred shop format, 82% declared that it was important for it to be close to home. This factor is of little importance to 18% per cent of respondents.

5.2 Plastic attitude

Chart 6: How much people care about avoiding plastic



Source: elaboration of personal survey

Chart 6 shows how much people care about avoiding all type of plastic while shopping for food products. Nowadays it is not easy to avoid plastic packages, because of the standards of security and hygiene required for food factories. Sometimes some factories exceed the use of plastic, using it even if not necessary. Therefore, for this reason, this question aims to understand if consumers do not care about those “habits” of the factories or do something to avoid the consumption of plastic.

While the population of Tarragona seems divided almost equally among the three options given in the survey, Catania appears in an evident negative situation.

It is possible, in fact, to see how only the 10% of the population has declared that they are actively doing something to avoid plastic while shopping food products, that is the opposite of the situation prospected analyzing Tarragona population, which declared to be active to avoid plastic use, and with its 40% represents the highest ratio registered. The situation of one of the main provinces in Sicily is only partially tempered only by the higher ratio of people who sometimes try to avoid plastic, that is 10% higher than those who has declared to do nothing.

The questionnaire asked to people who positively answered to last question, how they act to avoid plastic. The answers, for both cities taken into analysis, were almost equivalent.

The main solution found by consumers is represented by re-usable bags that replace the plastic bag given by the cashier. This trend has been increasing since the European directive 2015/720 (an example of environmental taxes into product) has been issued. In fact, all the member states had to adopt the directive in their own law system to reach the reduction of plastic consumption as concern shop bags.

Other consumers said that, to avoid plastic when buying food, they prefer those food products that have a paper or cardboard packaging.

Someone else said to prefer in glass products instead of traditional packaging made up by mixed material that make the recycle process more difficult (Mancuso, 2022). Only a small percentage said that to avoid the use of plastic they prefer to go in different shops to buy certain foods that are not present in the supermarket where they usually go. This is something that may let think over. Supermarkets nowadays are divided into sections and provide consumers with all kinds of food, from fresh to frozen, to meet as better as possible all consumers tastes (Matarazzo, 2019:1-3). However, this is only the first face of the coin; the second is represented by the supermarket strategy aimed at holding and retaining consumers to let them spend as much as possible time and money inside stores. The revolution of markets starts in 1950, in the 1957 with the birth of the first Supermarket, the consumer got used to be familiar with the concept of “All in one place”

that starts with supermarkets but spread out to the well-known mall and shopping center concepts. Before this time, consumers who wanted to buy different products were forced to move from one place to another, a habit that in the twentieth century is not considered at all (Matarazzo, 2013).

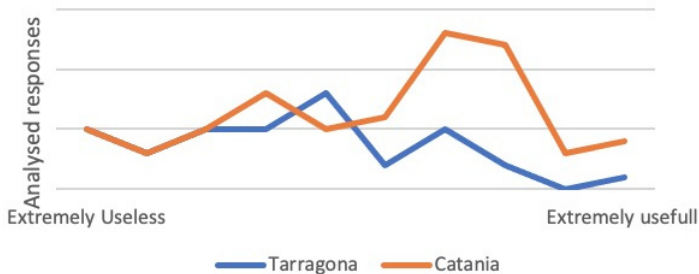
A similar study in Poland was carried out by the research company SW Research in cooperation with the Akomex Group. A ban on the sale of fruit and vegetables in plastic packaging is in favour of 65% of Poles, with as many as 70% of female respondents and nearly 60% of all male respondents. The age group most likely to support a ban on the sale of fruit and vegetables in plastic packaging is the over-65s.

As many as 73% of respondents in this age group think this is the right thing to do. Only 13% of respondents reacted negatively to the idea of abandoning plastic packaging in the sale of fruit and vegetables. According to the survey, consumers also indicate that products made of cardboard and paper are the most environmentally friendly packaging. This is the opinion of 52% of respondents. Thirty per cent of respondents mention glass as environmentally friendly packaging and 10 per cent mention wood (Zimolzak, 2022:12-23).

5.3 Packing relevance

Subsequently the population of the two cities was asked how useful packaging is, to understand if the previous results were motivated or not.

Chart 7: Utility perception of packaging



The chart 7 shows the importance given by consumers to plastic packages.

It is possible to see the two cities having a different perception shared by the same percentage only in the first part of the line chart. They both have the same perception of usefulness of plastic packaging. Therefore, the trend confirms what the population previously stated.

As for Catania, the importance of plastic is quite important, in fact, as previously seen, in graph 6, the population of Catania seems more attached to the use of plastic and reluctant to avoid it.

The population of Tarragona, unlike Catania, here confirms the previous trend by declaring a low importance of plastic packaging in food products. Now it is important to understand who is right between the two. According to the British Plastics Federation (BPF), plastic has been chosen because it is resistant to impacts; it also has the function of protecting products free of contamination and is characterized by a low weight and is durable over time, allowing transport.

Other two characteristics that make plastic ways more suitable than other materials are the versatility; in fact, it can be shaped and can fit any kind of products and can be recycled.

Unlikely what the common opinion could think, “food waste has at least ten times the environmental impact of packaging waste and that’s before taking account of the impact of methane from decayed food” this is what the Advisory Committee on Packaging have declared (Lavage, 2004:5-7).

Packaging have been also introduced in order to extend the expiry date of products sold in supermarkets and to subsequently reduce the food waste of not sold products, as showed by the following examples.

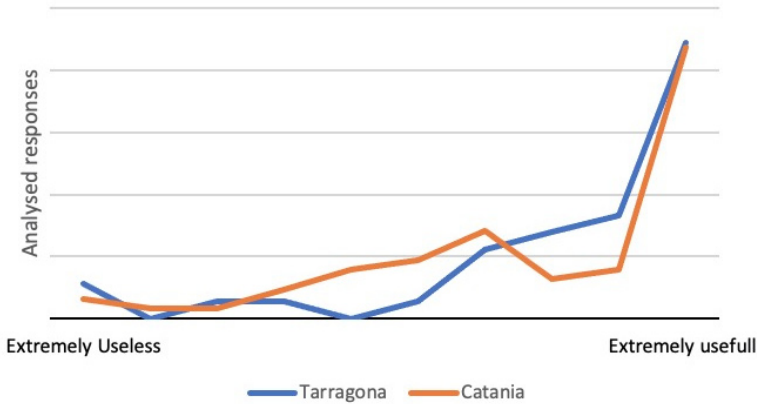


Fig. 11 – The relation of packaging and shelf-life: examples

Sub sequentially to the previous question regarding the usefulness of plastic packaging, it was asked how consumers would appreciate shops that eliminate packaging for food selling process.

The results are quite significant.

Chart 8: Should shops eliminate packaging while selling food products?



Once we understood why and how plastic packaging is used, the results showed by the chart 8 are considerable; in fact, people believed that removing plastic in supermarket food products is very useful. Here the results of the two-population considered are nearly aligned. In Italy, during the 2019, markets with no packaging system have been opened.

But those are not so common, because not every kind of products is suitable to be sold, with no packaging. For the reason mentioned above, moreover it is a difficult solution to be practiced by people who cannot or do not want to shop very often or buy large quantities of product, enough for several days.

In any case this entails having at home many reusable containers, solution however hardly practicable since the tendency is to live in apartments of smaller and smaller size. Packaging, among other things, also has the task of providing information on the products: it contains expiration date, composition, nutritional information and origin of the ingredients, all information that consumers increasingly want to know and that the European authorities are still obliged to make public.

Another aspect to consider, especially in this context, is the power of brand; in 99% of times, the packaging is the better place for messages communication or for other marketing techniques. The packaging of product is the way that companies must make the difference when consumers have to choose one product rather than.

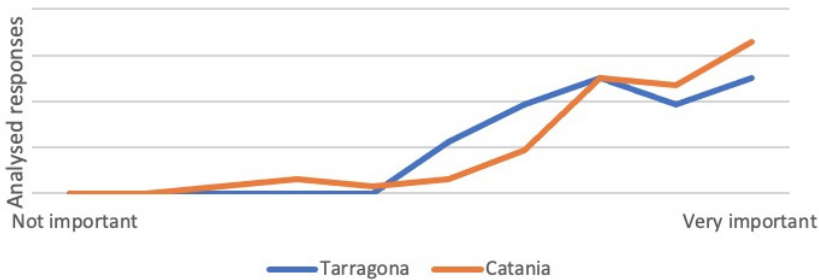
5.4 Brand and quality perception

The survey continues analyzing how important are quality-price ratio and brand for those consumers who purchase food products.

The quality-price ratio is an index of money value in terms of utility derived from every unitary sum of money spent, and takes into consideration not only the purchase price, but also the efficiency and effectiveness of the purchase (Arfò, 2022:72-76).

That ratio is given by the personal perception of the thing bought by the consumer and its utility.

Chart 9: Consideration of quality-price ratio when consumers shop food products



The price could seem high or low depending on the point of view one sees it: if there is a cheaper competitor product that seems to have the same quality, or if the perceived quality justifies buying a more expensive product.

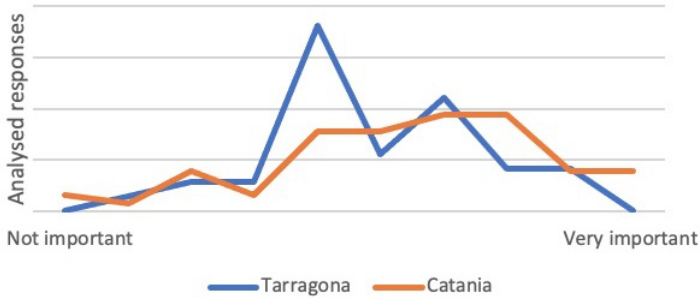
The chart 9 shows what already has been described as quality-price ratio. It highlights a common situation in both the considered populations, the priority is set on the price. Even if the favorite product is present, a lower price is always taken into account. A study was carried out in Poland to verify the impact of the inflation crisis on consumer shopping habits. The authors of this study point out that although the percentage of Poles who pay attention to the financial aspect when shopping is increasing (currently 80 per cent), this does not mean looking for the cheapest product, but one that combines the best possible quality with the lowest price.

At the same time, under the influence of the inflation crisis, customers are becoming more pragmatic – “ease” and “pleasure of shopping” are significantly less important to them compared to last year.

Instead, “low prices” and “favorable offers” are becoming more important.

The second factor previously mentioned is the brand; it has been asked how it can influence the preference of the food products consumers.

Chart 10: Consideration of the brand when consumers shop food products



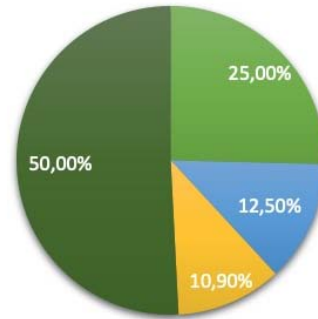
The trend displayed by the chart 10 shows a proof of what has been said. Even with different percentage the two considered population, it shows how the brand is useful to create a reference point, but only in few cases is fundamental for final purchase decision. In both, Tarragona and Catania, the most voted range is the middle one, that stands for a preference for the branded product sold in the case of equal prices, rather than for another that seems have the same product features.

Organic foods are related to such organoleptic feature that are closely related to the field in which the product had been cultivated, and from which was processed to obtain the final product. It is clear that some organic products are not available all the periods of the year. For this reason, the survey, before asking the meaning of the organic food label and its description, has asked the population how they select seasonal products and if it is important for them in which period they are sold.

Chart 11: Importance given to seasonal food products from Tarragona population



Chart 12: Importance given to seasonal food products from Catania population



- consumer always chose seasonal food product and for those who are not available at the moment chose "kilomentro 0"
- consumer always chose seasonal food product and for those who are not available at the moment chose products that stand out BIO label
- consumer tries to chose seasonal products, but not always succeed
- consumer does not mind about seasonal products neither about labels

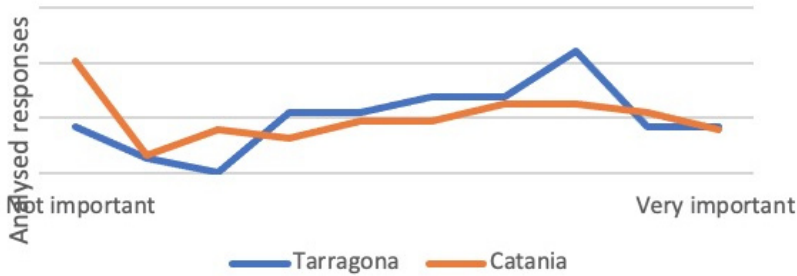
Charts 11 and 12 show a very common behavior of both populations. Even if they are careful about avoiding plastics and try to be eco-friendly, when speaking about seasonal food consumption there is a high carelessness. In fact, 50% of people from both Tarragona and Catania are characterized by a non-care about the seasonality of the food product, but they buy regardless of this factor (Strotmann, 2017:8-9).

Research in Poland shows that nearly half of Poles (44 per cent) try to eat 'seasonally'. - buys those dishes and products that are most available at a particular time of year. Eating according to the seasons, i.e. choosing products that are the tastiest and most available at a given time, is increasingly important to Poles (Arbulo, 2018).

5.5 Label relevance

The survey finally investigates about the awareness and the meaning of the organic label that represent one of the main objectives of the survey in itself.

Chart 13: Importance that consumers give to Organic Label



The chart 13 displays a well-nigh correlation between the two analyzed cities. In fact, for the most part of the population considered, the organic label is important, and it is kept into consideration when consumers shop food products.

Because of its recent adoption, the charts are characterized by opposite peak founded in the opposite ends (“bypolarism”). How it is clear to notice, there are many subjects who think that the organic label is not important (particularly in Catania) and another number of subjects (in Tarragona) who consider it relevant and way more relevant, enough to let it become a fundamental requirement to decide the purchase. According to recent studies, the environmental awareness of Poles has increased in the last decade.

Consumers are trying to counteract environmental degradation by making responsible purchasing decisions. Almost two-thirds of Polish respondents declare that they would prefer to choose products that do not harm plants and animals or contribute to climate change (63 per cent and 62 per cent respectively). More than half (58 per cent) expect companies not to contribute to deforestation, 57 per cent are more likely to buy items with recyclable packaging, such as paper, and 56 per cent believe they can help protect forests by buying products certified by independent organizations. After having asked about the relevance of the organic label on products, people have been asked to describe the meaning of the label mentioned before (Skaar, 2012:14-18).

The answer of the two population is reported globally because of their content; in fact, both the analyzed population reported almost the same results. The opinion is divided between those who think that this means only the absence of GMOs, and those who thought the products were grown without pesticides and dangerous substances.

In general, it is possible to say that the opinions of the population taken into analysis is correct, but only in part.

The organic standard is not only the absence of GMOs and pesticides but is a truly complex set of rules and standards that combined give the result of a certificated organic food.

Marketing plays a strategic role, in the conviction of the ideas commonly shared through the population considered.

The use of colors and the logo design are also fundamental part of the consumer perception process (Spadaro, 2020: 185-193).

The elements used across all the logos are the base of the unconscious process that let consumers think about the idea of healthy and eco sustainability. Another critical factor is the position of the label on packaging; the label in fact is always on the front of the pack for those consumers who want to buy green products, but who are less careful with respect to the specific nutrition values or the origin of ingredients. For those that are more interested to this information, the logo is located on the back near the expiration date through historical market data.

Companies who really know their consumers and know the target who are referred to, can choose one or the other available option. Companies who adopt the organic standards should pay more attention to the position of the organic logo.

In some cases, a complete redesign of packaging is extremely recommended to highlight the most important features of a product, and in particular the organic logo. The first error companies have to avoid in these cases is to focus only on the immediate costs that they have to face, while ignoring the advantages they will obtain in long term.

As the survey showed, organic certification is a relevant feature for most consumers, and as such, it has to be well showed and highlighted.

6 Conclusions

The survey has demonstrated how the data displayed from Tarragona and Catania were, despite their different geographic position and features, in most cases very similar, and sometimes they may be overlapped. This has a strong impact as concern the segmentation and targeting process of marketing, because the results have shown how a marketing technique can be applied in different contexts that could seem unrelated or different. Furthermore, the results of the survey have shown how the perception of BIO and Organic product can make the difference across the shopping process of consumers; actually, when facing different products, they tend to choose the one who has the organic label on it instead of the one who

does not. The age appeared has a factor to consider while speaking of bio products. People who are older, and presumably with higher incomes, have more time for shopping and are less afraid to go in Bio supermarket or to choose bio products, often characterized by higher prices compared to the ones who not completely respect organic food standard.

The survey even showed that displaying the organic food standard is a guarantee of a further safety, for both humans and environment, and induce consumers buying these kinds of products.

Green Marketing strategies applied to food products can make the difference. Food sector has always been one of the most competitive one. Green marketing tools help companies to differentiate their product line and to attract different customers (market segmentation). The use of green marketing is considered by consumers as a critical purchase factor.

The Organic Certification combined with a good marketing path allow companies to attract more clients. Companies should follow the European guidelines about organic food. First to offer a better-quality product that can be sold at a higher price increasing the profit margin. Secondly because a greener production approach can rise the company's value reaching a higher competitive differential.

The meaning of organic product has been understood in different way from the two-population considered in the analysis. Companies who want to take more advantages from their product should spend their efforts into awareness campaign. Conscious consumers can make different choice while purchasing. They will look for the main features of food to buy, and then they will orient their shop according to their convinced preferences about the quality of the food.

Quality standard certification, especially nowadays, assumed fundamental importance.

Companies that have already adopted standards were mostly forecasting the next compulsory regulation. Those companies had more time to amortize costs. Companies that have to suddenly adopt compulsory standards, most of the times lose their competitive advantage, while facing production path redesign and reacting to the changed environment.

The interviewed population was a heterogeneous sample of the citizens, and it is not possible to clearly state if their different social and cultural backgrounds had influenced or not the results of the analysis. The most important factor influencing the results was the age of people; in fact, the older the people, the higher their will to buy green product.

As the survey has demonstrated, consumer's behaviors were often very similar to those imagined. Companies with an international product distribution can benefit from information concerning the most frequent consumer homogeneous conduct, applying a feasible standardized approach

that allows companies to better coordinate different operational tools.

Green marketing and in general green standards of high quality allow also companies to increase their competitive niche advantage and can help to create different needs that once created can be directly satisfied by companies themselves.

Acknowledgements

“The study was funded under the National Recovery and Resilience Plan (NRRP), Mission 4 Component 2 Investment 1.3–Call for proposals No. 341 of 15 March 2022 of Italian Ministry of University and Research funded by the European Union–NextGenerationEU, Award Number: Project code PE00000003, Concession Decree No. 1550 of 11 October 2022 adopted by the Italian Ministry of University and Research, CUP E63C22002060006, Project title “ON Foods–Research and innovation network on food and nutrition Sustainability, Safety and Security–Working ON Foods”.

References

- ARBULO R., JOAQUÌN MAR R., BELTRÀN-CABALLERO A., GRIS F. (a cura di), Tarragona Patrimoni mundial. Una nova visió, Arola Editors, Tarragona, 2018.
- ARFÒ S., MATARAZZO A., ARFÒ A., SCUDERI A., Circular Economy Indicators in Sicilian Wine Sector; the industrial symbiosis for the national circular economy strategic plan, Atti del convegno (Rimini, 8 Novembre 2022), a cura di T. Beltrani, M. La Monica, 42, 72-76.
- BINAGHI, L. DEL BORGHI, M. GALLO, M. (2007). The Application of the Environmental Product Declaration to Waste Disposal in a Sanitary Landfill, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 41.
- BUSCH, S.O. (2001). *Medieval Mediterranean Ports: The Catalan and Tuscan Coasts, 1100 to 1235*. BRILL, 53.
- CHARTER, M. (a cura di), *Greener Marketing: A Responsible Approach to Business*, Routledge Taylor & Francis Group, London, 2017.
- COUNCIL REGULATION (EC) No 834/2007 Article no.1 of 28 June 2007 on organic production and labelling of organic products and repealing Regulation (EEC) No 2092/91, 2007.
- D'INCOGNITO V. (a cura di), *Guida allo Sviluppo dei Sistemi di Gestione Ambientale – Norma ISO 14001*, Franco Angeli, Milan 1998.
- DHAR R., KASTERINE A., CHARBONNEAU J., MCKEE A., REYNOLDS J., DOMEISEN N., DROSTE I., PISKOLTI CALDWELL E., AEROE A., *Packaging for Organic Foods*, International Trade Center, Geneva, 2012.
- GINSBERG, J.M. BLOOM, P.N. (2004). Choosing the Right Green Marketing Strategy. *Mit Sloan Management Review*. 81-83.
- GIUNTA, F. LEANZA, A. MATARAZZO, A. DI SILVESTRO, A. GIGLI, C. LOMBARDO, E. (2018). Use Of Corporate Environmental Tools in the Perspective of Industrial Symbiosis. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 5(2), 85-92.
- INGRAO, C. MATARAZZO, A. TRICASE, C. CLASADONTE, M.T. HUISINGH, D. (2015). Life Cycle Assessment for Highlighting Environmental Hotspots in Sicilian Peach Production Systems. *Journal of Cleaner Production*. 92. 109-120.
- INGRAO, C. SELVAGGI, R. VALENTIA, F. MATARAZZO, A. PECORINO, B. ARCIDIACONO, C. (2019), Life cycle assessment of expanded clay granulate production using different fuels. *Resources Conservation and Recycling*, 141, 398-409.
- LAVALLE, S. PLOUFFE, S. (2004). The Ecolabel and Sustainable Development. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 349.

- MANCUSO, T. ARFÒ, S. DI MAURO, M. MATARAZZO, A. FROIO, A.P. SCUDERI, A. (2022). Application of SOSTAIN to Wine Sector in Sicily as Sustainability Management Tool. *Journal of Biomedical Research & Environmental Sciences*, 3(3), 302-306.
- MATARAZZO A., VILLARI E.R., SPADARO G., VAZZANO T.A., ZERBO A., Circular Economy and Life Cycle Assessment for Wine Sector. *Atti del convegno (Athens, 1-4 Settembre 2021)*.
- MATARAZZO, A. CLASADONTE, M.T. INGRAO, C. ZERBO, A. (2013). Criteria Interaction Modelling in the Framework of LCA Analysis. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3, 523-530.
- MATARAZZO, A. CLASADONTE, M.T. LO GIUDICE, A. (2015). Implementation of Guidelines for Eco-Labeling in Agri-Food: The Sicilian Pistachio Sector. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 2, 73-84.
- MATARAZZO, A. VAZZANO, T.A. SQUILLACI, C. (2021) Survey on Purchasing Methods of Food Products in Tarragona and Catania. *Advances in Global Services and Retail Management*, 2, 1-18.
- MILAZZO, P. SGANDURRA, M. MATARAZZO, A. GRASSIA, L. BERTINO, A. (2017), The New ISO 14001:2015 Standard as a Strategic Application of Life Cycle Thinking. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 4, 119-126.
- MUNDA, G. MATARAZZO, A. (2019). On the Impossibility of Using “the Correct” Cost-Benefit Aggregation Rule. *Journal of Economic Studies*. 47(5).
- SKAAR, C. MGERHOLM FET, A., “*Accountability in the Value Chain: From Environmental Product Declaration (EPD) to CSR Product Declaration*” in Wiley Online Library, (2012), Pag 231.
- SPADARO, G. NICOTRA, A. IURATO, S. MATARAZZO, A. MANNINO, M. (2020). Environmental management strategies in smart Sicilian food and technology chains. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 7(2), 185-193.
- STROTMANN, C. GÖBEL, C. FRIEDRICH, S. KREYENSCHMIDT, J. RITTER, G. TEITSCHIED, P. (2017). *A Participatory Approach to Minimizing Food Waste in the Food Industry - A Manual for Managers*. 3-4.
- SUMAEDIA, S. YARMEN, M. (2014). The Effectiveness of ISO 9001 Implementation in Food Manufacturing Companies: A Proposed Measurement Instrument, *International Symposium on Food and Agro-biodiversity ISFA*, 2014, 440.

Improving sustainability in the agri-food sector: circular economy indicators as tools for evaluation and optimization

Flaviana Capolini
Roma Tre University
Alessia Acampora
Roma Tre University
Olimpia Martucci
Roma Tre University
Maria Claudia Lucchetti
Roma Tre University

ABSTRACT

Circular economy in the agri-food sector is a crucial challenge to tackle to reduce waste and the environmental impact associated with food production. This study focuses on the identification and classification of circular economy indicators specific to this sector, aiming to provide a framework for companies interested in improving their practices and reducing their environmental footprint. The methodology used was based on a review of existing literature and identified 129 indicators divided into three categories: environmental, social, and economic. The environmental indicators were further classified into areas such as water, waste, soil, atmosphere, biodiversity, and energy. The classification of indicators allowed for identifying research gaps and emerging trends to accelerate the development of circular economy strategies in the agri-food sector. The obtained results offer an advantage for both the scientific community and companies, providing a structured framework supported by scientific references for the transition to a circular economy in the agri-food sector. Agriculture is responsible for a significant share of greenhouse gas and nitrogen emissions, which contribute to biodiversity loss. The use of circular economy key performance indicators (KPIs) enables companies to assess their practices and make informed decisions to reduce the environmental impact of production systems. In conclusion, the development of a circular economy indicator framework in the agri-food sector provides important guidance for companies interested in improving their practices and adopting sustainable strategies. This study contributes to promoting the transition towards a circular economy in the agri-food sector, offering a solid basis for informed decisions aimed at reducing waste and environmental impact.

KEYWORDS: Circular economy, agri-food sector, sustainability indicators, circular practices

1 Introduction

Circular economy indicators play a crucial role in calculating how sustainable a company is and how much it manages to limit its impact on the environment (Aznar-sánchez et al., 2020). Climate change and resource consumption have dominated the media and political landscape in recent years. Governments, political parties, non-governmental organizations (NGOs), corporations, and consumers have begun to pay more attention to the environmental impact of their choices and decisions (Acampora et al., 2020). Today, achieving a circular economy is one of the key goals of all national and international program (Osorio et al., 2021). This is particularly relevant for the agri-food sector, which is responsible for excessive resource usage and various environmental damages.

The circular economy was recently proposed as a pillar to manage all production and consuming activities while also promoting economic sustainability gains and reducing environmental impact (Merli et al., 2018b).

Using a circular approach the agri-food sector could identify paths that combine environmental performance improvement with the reuse of second raw materials as inputs to the production process, generating also economic benefits (Ghisellini and Ulgiati, 2020; Tunn et al., 2019). The first step in this direction is to identify possible areas for CE implementation in the sector, as well as to establish indicators that could quantify the industry's circular potential. In the agri-food sector today, both the implementation of circular principles and a system of circularity indicators are lacking (Acampora et al., 2017). The identification of performance indicators is a critical component of the business sustainability plan. Indeed, to promote the CE, it is vital to assess the efficacy of national, regional, and local programs. As a result, it is critical to implement monitoring and evaluation techniques as indicators to assess and quantify these progresses (Geng et al., 2012; Su et al., 2013). Circular economy represents a key paradigm for addressing the environmental, social, and economic challenges of the agri-food sector. The adoption of circular practices, such as food by-product reuse, material recycling and waste reduction, can significantly contribute to environmental sustainability, food security and long-term value creation. In the context of the circular economy, the analysis of circularity indicators plays a key role in assessing the effectiveness and impact of implemented practices. Indicators such as water footprint, carbon footprint and ecological footprint make it possible to measure resource efficiency, assess environmental impact and monitor progress towards pre-defined sustainability goals. Analysis of these indicators can provide a solid basis for assessing the performance of agri-

food activities and identifying areas where significant improvements can be made. The objective of the study is to provide a conceptual framework for identifying, selecting, and using the most relevant indicators to assess circular performance.

2 Literature review

Different articles have analyzed the importance of the implementation of circular strategies within the agri-food sector. Some of these specifically focus on sustainability indicators that analyze the effectiveness of business strategies in terms of sustainability and circular economy.

This work reviewed four papers specifically dealing with indicators for circular economy implementation in the agri-food sector. The paper analyzed are presented in Table 1.

Title	Authors	Journal	Year
Circular economy implementation in the agricultural sector: definition, strategies, and indicators.	Juan F. Velasco – Munoz and others	Resources, Conservation and Recycling	2021
Towards a circular nutrient economy. A novel way to analyze the circularity of nutrient flows in food systems.	Robin Harder and others	Resources, Conservation and Recycling	2021
Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: selection of indicators.	Stefano Poponi and others	Resources, Conservation and Recycling	2022
Toward a framework for selecting indicators of measuring sustainability and circular economy in the agri-food sector: a systematic literature review.	Cecilia Silvestri and others	The International Journal of Life Cycle Assessment	2022

Table 1 – Sample of analyzed papers

In the Velasco-Muñoz et al. (2021) study authors examine how, in the current context of resource scarcity, global climate change, environmental degradation, and growing food demand, the Circular Economy (CE) represents a promising way to support regenerative and regenerative

agriculture. An analysis of the CE literature performed in the article shows that the theoretical CE framework has yet to be applied to agriculture. As a result, the goal of this paper is to bridge this gap in two ways: i) adapting the general CE framework to the agricultural sector's specificities; and ii) assessing the variety of indicators available to measure the performance of agricultural production systems to help decision-making. As a result, the various aspects of the CE theoretical framework have been tailored to agricultural production systems. The definition of CE as it applies to agriculture is a significant contribution of this document. Furthermore, CE principles are field-adapted, and CE solutions for agricultural activities are defined. Furthermore, 41 circular indicators for use in agricultural systems were evaluated to establish their strengths and shortcomings. Future research directions, as well as institutional and regulatory adjustments, are proposed based on the primary findings to promote CE adoption in agricultural production systems. For example, to produce meaningful studies and estimate the circular performance of agricultural activities, internationally recognized criteria and proper units of measurement must be established (Velasco-Muñoz et al., 2021).

Instead, Harder et al. (2021) investigated why there has been such a surge in interest in nutritional circularity in recent years. Nutrient circularity appears to involve reduced nutrient losses and greater nutrient recovery from diverse organic waste streams for reuse in agricultural production in the context of food systems and waste management. Most of the research papers aimed at improving nutrient circularity in food systems have restricted their analysis to a specific geographical area. However, the circularity of nutrients is likely to alter when the research incorporates what happens outside the bounds of the area under consideration. The document introduces and analyses an analytical framework for analyzing the circularity of nutrients not only within the geographical area under consideration, but also in those sections of the global food system with which the local food system interacts in terms of feed and food trade. This paradigm specifically characterizes the impact of opening the feed and food commerce sector. This enables: a distinct consideration of four different interpretations of nutrient circularity - internal and external circularity in intake and output; and an examination of how these four circular indicators interact to one another depending on the system's openness. The suggested analysis may thus disclose the extent to which a high level of nutrient circularity in the area under examination is caused by a decrease in nutrient circularity in places where feed and food are traded, or vice versa (Harder et al., 2021).

Poponi et al. (2022) mapped circular economy indicators with the goal of creating KPIs framework. According to the report, one of the important sectors where action is required to enable the transition to a more

sustainable growth model based on the principles of the circular economy (CE) is the agri-food sector. The use of indicators to track progress and areas for intervention is critical in the transformation of businesses, regions, and countries to a circular model. The goal of this research is to design a dashboard that can be utilized at different spatial levels to assist the agri-food sector towards CE and sustainable development. The authors found 102 indicators from the relevant literature that are divided into three domains of sustainability (environmental, economic, and social) and spatial dimensions (macro, meso, and micro) within eight areas. The dashboard offers a set of tools for guiding decision-making and strategy through the focused use of indicators against the context in which the CE is deployed. Furthermore, the dashboard enables practitioners to highlight missing components relating to new indicators that are not covered by the instrument; new topics that have not yet been examined in the literature; and the need for cross-cutting indicators. The investigation found only 17 such indications for the need to adopt cross-sectional indicators. A subsequent stage have been to establish the most appropriate configurations among the indicators that create CE, beginning with evaluating indicators at the micro level to evaluate their applicability and considering the impacts they may have at the macro or meso level.

Silvestri et al. (2022) addresses how the use of sustainability and circular economy (CE) models in agri-food production may increase resource efficiency, minimize environmental burdens, and assure better and more socially responsible systems. In this setting, measures for gauging sustainability are quite important. Indicators can be used to assess CE solutions for the preservation of functions, goods, components, materials, or embedded energy. Even though there is a large body of research addressing sustainability and CE indicators, no study provides such a comprehensive picture of indicators for assessing sustainability and CE in the agri-food sector. A comprehensive bibliographical review has been established to quantify sustainability in the agri-food sector and based on the findings, to understand how indicators are utilized and for what specific goals. The results analysis enabled the authors to categorize the sample of articles into three main clusters (“Assessment-LCA”, “Best practice”, and “Decision-making”) and revealed an increasing focus on the three pillars of sustainability (triple bottom line). In this context, an integrated approach of indicators (environmental, social, and economic) provides the greatest answer for a smoother transition to sustainability.

The sample analysis has aided in the identification of new effect areas that merit consideration, such as supply chain collaboration and eco-innovation (Silvestri et al., 2022).

3 Methodology

The aim of this paper is to provide a framework of indicators of circular economy to be implemented within companies operating in the agri-food sector. The analysis of the indicators of circular economy in the sector was performed through bibliographical research on scientific and grey literature. Starting from papers presented in Table 1 an agri-food CE indicators database has been created. 129 indicators have been retrieved and have been selected as a sample of the analysis. After retrieving indicators from the four review papers, cited in Table 1, a meta-analysis has been performed. Since the focus of the analysis was on the CE indicators at company level all the indicators analyzed are at the micro level. Just the indicators specifically focused on CE have been selected for the analysis. To classify indicators several analytical categories have been created. The first classification was performed according to the sustainability area: environmental, social, and economic. After this initial classification, the aim was to study environmental indicators. To do so, 7 variables have been selected to classify the KPI: water, waste, soil, atmosphere, energy, biodiversity, and others. For each of these categories we analyzed the most relevant CE indicators.

4 Results and Discussion

The first type of classification was to select the sustainability indicators with a specific focus on circular economy. As we can see from the figure, out of 129 sustainable indicators, 31 have a circular economy focus (Figure 1).

Circular economy focus YES/NO

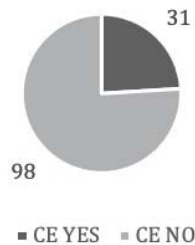


Figure 1 – Indicators with CE focus
Source: Authors' elaboration

The next type of classification performed was made by sustainability area. The KPIs were divided into environmental, economic, and social. As can be seen from Figure 2, environmental indicators are more numerous (Figure 2).

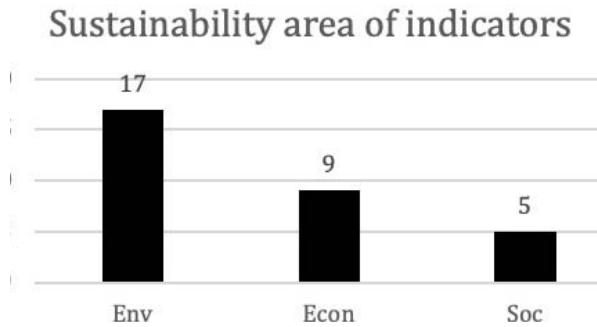


Figure 2 – Area of sustainability indicators with CE focus
Source: Authors' elaboration

Then, sustainability indicators with a focus on social and economic aspects have been classified and analyzed. Starting with the social one, the majority of the KPIs consider community, local culture, food security and social inclusion aspects (Table 2). These indicators promote circular practices, such as proactive behavior to ensure social responsibility and the stakeholders' participation on circular projects.

Indicator	Description	Source
<i>Local Cultural/ Ethic</i>	Improvement of the community's consciousness of the necessity of preserving the product and the landscaper	(Cecilia Silvestri, Luca Silvestri, Michela Piccarozzi, Alessandro Ruggieri et al., 2022)
<i>Promoting Social Responsibility</i>	Proactive behavior to promote Social Responsibility – (u.m. Likert scale)	(Cecilia Silvestri, Luca Silvestri, Michela Piccarozzi, Alessandro Ruggieri et al., 2022)
<i>Participation and local democracy</i>	Involvement in the adoption of circular practices	(Borrello et al., 2017 Iacovidou et al., 2017)
<i>Social inclusion</i>	Social involvement in the adoption of circular practices	(Borrello et al., 2017 Iacovidou et al., 2017)

<i>Employment possibilities</i>	Creation of new job opportunities by adopting a circular model, both in terms of new staff and skills	(Sgarbossa and Russo, 2017)
---------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------

Table 2 – Social KPIs
Source: Authors' elaboration

Economic indicators, instead, focuses on investments made for the implementation of the innovations for circular economy and the benefit that the companies can draw in adopting circular strategies for the cost reduction. Another aspects considered by these indicators is customer satisfaction and communication (Table 3).

Indicator	Description	Source
<i>Innovation/R&D proactivity</i>	Proactive collaboration among farmers and research centers and universities on new cultivation techniques and structural innovations in the farm – (u.m. Likert scale)	(Cecilia Silvestri, Luca Silvestri, Michela Piccarozzi, Alessandro Ruggieri et al., 2022)
<i>Ecological packaging</i>	Reduction in plastic amount of time – (u.m. %)	(Cecilia Silvestri, Luca Silvestri, Michela Piccarozzi, Alessandro Ruggieri et al., 2022)
<i>Environmental farm management</i>	Implementation of agricultural policies aimed at effective environmental management – (u.m. Yes/No)	(Cecilia Silvestri, Luca Silvestri, Michela Piccarozzi, Alessandro Ruggieri et al., 2022)
<i>Profitability indicator</i>	Assessing the cost-effectiveness of implementing an innovation for the CE	(Sgarbossa and Russo, 2017)
<i>Total capital investment</i>	Total capital invested in the implementation of an innovation for the CE	(Sgarbossa and Russo, 2017)
<i>Availability of latest technologies</i>	Degree of presence of new technologies	(Vasa et al., 2018)
<i>Capacity for innovation</i>	Degree of firms' capacity to innovate	(Vasa et al., 2018)

<i>Impact of ICTs on new services and products</i>	Degree to which ICTs generates product and service innovations	(Vasa et al., 2018)
<i>Percentage share of expenditure in R&D in agriculture to GVA in agriculture</i>	Ratio of investment in research and development in the agri-food sector to the total added value generated	(Vasa et al., 2018)

Table 3 – Economic KPIs

Source: Authors' elaboration

Then we analyzed only the sustainability indicators that fell within the environmental sphere, and we classified them according to 7 scopes: water, waste, soil, atmosphere, energy, biodiversity, and others (Figure 3).

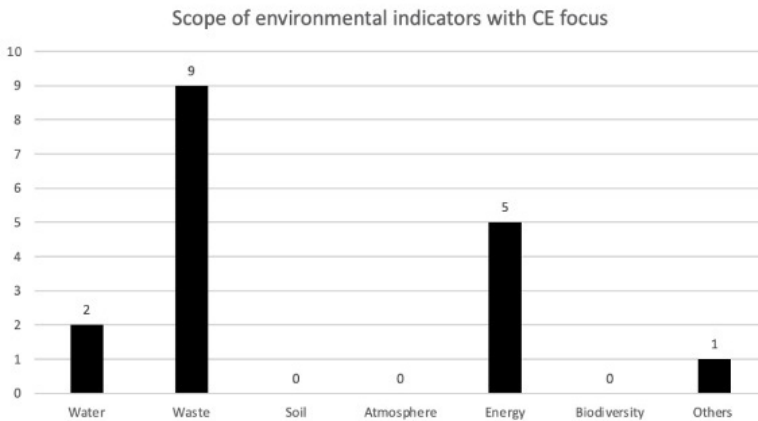


Figure 3 – Scope of indicators

Source: Author's elaboration

In more detail, the 17 indicators studied cover the entire supply chain of the agri-food sector. Most of the indicators with a focus on the circular economy belong to the area of waste, and the scope of energy encompasses the production of renewable energy for companies operating in the sector, the amount of energy produced from waste recovery, and the rationality of renewable energy use.

Firstly, we analyzed in the Table 4 the CE indicators that are part of the water scope.

Indicator	Description	Source
<i>Water Quality</i>	Amount of water used in the producer farm that comes from alternative sources	(Cecilia Silvestri, Luca Silvestri, Michela Piccarozzi, Alessandro Ruggieri et al., 2022)
<i>Degree of integrated water resources management implementation</i>	Degree of implementation of integrated water resources management	(UNSD, 2020)

Table 4 – Water scope
Source: Authors' elaboration

Two indicators have been selected for this scope. The first one is an indicator of circular economy that quantifies the use of water in factories that comes from alternative sources. The other measure the degree of implementation of integrated water management.

Water indicators are very important for the CE implementation as only 1% of the world's water resources are really viable freshwater reserves. This quantity is under increasing strain, both worldwide and locally, putting both quality and quantity at danger. Unsustainable development models that involve a constant increase in needs are at the root of this stress: the continuous increase in population and increasingly high living standards determine the increase in agricultural needs, civil, industrial, and food production, with the resultant contamination of available resources (Petta, 2021).

In Table 5, all CE indicators falling within the waste sphere are analyzed. This is the most numerous scopes under investigation. Indeed, of the 17 indicators examined, 9 are focused on reusing or reducing waste, one of the pillars of the circular economy. Most of the indicators with a focus on the circular economy belong to the area of waste, more specifically the economic and environmental impact of wasted food, the amount of food that becomes waste and the economic valuation of food that becomes waste. Indeed, indicators in this area are particularly important as food waste account for 55% of garbage, equivalent to 70 kg per inhabitant in EU in 2020. The remaining 45% is waste generated in the food chain because of primary production (14 kg) and food and beverage manufacturing (23 kg) per inhabitant, with percentages of 11% and 18%, respectively. This is because there are measures in these areas to limit food waste, such as using it in by-products. Catering generated 12 kg of food waste per person (9%), while retail and other food distributions supplied 9 kg (7%). However, because 2020 is the first year of the epidemic, the impact of lockdowns on these two industries is still being studied (Moroni, 2022).

Indicator	Description	Source
<i>Nutritional cost footprint</i>	Economic and environmental impact of wasted food	(Vázquez-Rowe et al., 2020)
<i>Economic FLW indicator</i>	Economic valuation of food that becomes waste	(Vázquez-Rowe et al., 2020)
<i>Waste sent to landfill</i>	The amount of waste from the food industry that is disposed of in landfills	(Pagotto and Halog, 2016)
<i>Food waste</i>	Amount of food that becomes waste	(European Commission, 2015)
<i>Global Food Loss and Waste</i>	Amount of food wasted globally, both at the time of production and harvest and after consumption	(UNSD, 2020)
<i>Package to Product</i>	Ratio of the environmental impacts of packaging to the packaged product	(Serešová and Kočí, 2020)
<i>Nutrient circularity indicators (carbon, nitrogen, and phosphorus)</i>	Amount of component that extends its lifetime by providing a service in upstream processes compared to the amount of that component present in the collected (downstream) waste	(Cobo et al., 2018)
<i>Recycling rates</i>	Amount of recycled waste from the food processing industry	(Pagotto and Halog, 2016)
<i>Waste management/Recycled materials</i>	Waste management practices and policies – (u.m. Yes/No)	(Cecilia Silvestri, Luca Silvestri, Michela Piccarozzi, Alessandro Ruggieri et al., 2022)

Table 5 – Waste scope
Source: Authors' elaboration

Then energy indicators in the agri-food sector have been analyzed as, for example, the ones related to the bioenergy produced on the total amount of renewable energy produced or the ability of the system to produce an amount of energy needed to perform all the process operations productive (Table 6).

Indicator	Description	Source
<i>Bioenergy production as a % of renewable energy</i>	Bioenergy produced for the agri-food sector out of total renewable energy produced	(Vasa et al., 2018)
<i>Wood fuel production</i>	Fuelwood or firewood (in log, brushwood, pellet or chip form) obtained from natural or managed forests or isolated trees. Also included are wood residues used as fuel and in which the original composition of wood is retained. Charcoal and black liquor are excluded	(Vasa et al., 2018) (UNSD, 2018)
<i>Recovery of energy by using waste</i>	Amount of energy produced by waste recovery	(Sgarbossa and Russo, 2017)
<i>Energy required</i>	Amount of energy needed for waste recovery	(Sgarbossa and Russo, 2017)
<i>Renewable energy share in the total final energy consumption</i>	Ratio of renewable energy consumption to total energy consumption	(UNSD, 2020)

Table 6 – Energy scope
Source: Authors' elaboration

The last type of classification collects general indicators belonging to other areas (Table 7). There is just one indicator of circular economy. It can be defined in this way because it is thought that the materials used for the construction of agricultural machinery can be reused as input to produce another product.

Table 7 – Others KPIs

Indicator	Description	Source
<i>Agricultural machinery, tractors</i>	Number of agricultural machineries use in the agri- food sector during the reference year	(Vasa et al., 2018)

Table 6 – Energy scope
Source: Authors' elaboration

The research analyzed the CE indicators used in the agri-food sector to assess the environmental, social, and economic impact of agricultural

and food practices. During the research, different types of sustainability indicators used in the agri-food sector were identified. Environmental indicators focus on the use of natural resources, the impact on climate change, waste management and energy efficiency. Social indicators assess the impact of agricultural practices on the health and well-being of farmers, workers, and local communities. Economic indicators consider the efficiency of production processes, the economic value generated and the distribution of economic resources along the agri-food chain. The results of the research showed that the CE indicators in the agri-food sector are heterogeneous and vary considerably depending on the geographical context, the size of the farm and the agricultural practices used. In addition, the research highlighted the importance of integrating sustainability indicators into decision-making at all levels, from farms to public policies. The use of sustainability indicators can help to improve agricultural practices, promote transparency along the agri-food chain and respond to the growing consumer needs for sustainable and responsible products. This study brought some very significant results. Results of the research are filling the research gap of the existing literature that does not provide much information regarding the transition of agribusinesses towards a circular economy. For this reason, more efforts should be made to provide companies with the opportunity to implement conscious and effective strategies. The aim of the research is to provide a framework of circular economy KPIs that can be implemented within companies to reduce their waste, water use, CO₂ emissions, preserve biodiversity and many other factors. Out of 129 analyzed KPIs, 31 focuses specifically on circular aspects and strategies. Most of these are at the micro and therefore corporate level. As mentioned above, the study focused on environmental ones giving it a taxonomy based on:

- Water scope: out of 17 selected indicators 2 defined as circular economy indicators.
- Waste scope: out of 10 mapped indicators, 9 classified as circular economy indicators.
- Soil scope: out of 14 selected indicators, none were defined as circular economy indicators.
- Atmosphere scope: out of 10 selected indicators, none were defined as circular economy indicators.
- Energy scope: out of 16 indicators mapped, 5 were highlighted as circular economy indicators.
- Biodiversity scope: out of 4 indicators selected, none were identified as circular economy indicators.
- Others: out of 6 indicators, 1 was selected as a circular economy indicator.

As far as social indicators are concerned, out of 18, 5 are circular economy indicators.

For economic indicators, out of 34 mapped, 9 are defined as circular economy indicators. In total, out of 31 circular economy indicators mapped 17 environmental, 5 social and 9 economic.

As we can see, research on indicators and methodologies to measure the level of implementation of CE strategies is still in its early stages, especially at the micro level, so more efforts are needed to establish a set of reliable indicators. This research can become the starting point for a larger work that can enrich the scientific community. Ongoing research and adoption of more accurate and standardized sustainability indicators can help promote greater sustainability in the agri-food sector and meet global challenges related to sustainable nutrition and environmental protection.

5 Conclusions

This study addressed the crucial issue of the circular economy in the agri-food sector, exploring the importance of circularity indicator analysis and the role played by the indicator framework in assessing and promoting sustainability in this key sector. The scientific studies reviewed enabled us to develop and analyze circularity indicators, as well as investigate how these can be applied to agri-food firms. The goal of this paper was to identify gaps and trends to speed up research on indicators and methodology for measuring the level of implementation of CE initiatives in the agri-food sector. The project's findings will be useful to the scientific community as well as all enterprises operating in the industry as they transition to a circular economy based on a more structured strategy driven by scientific references. In conclusion, the circular economy in the agribusiness sector offers a unique opportunity to address the challenges of environmental, social, and economic sustainability. The analysis of circularity indicators and the adoption of a structured assessment framework can provide a solid basis for monitoring and assessing the impact of circular practices. Through continuous commitment and collaboration between all parties involved, it will be possible to achieve a more sustainable, resilient, and circular agri-food system, thus ensuring a better future for present and future generations.

References

- ACAMPORA, A., PRATESI, C.A., RUINI, L., & MATTIA, G. (2020). *Carbon Neutrality in the agrifood sector: Challenges and opportunities in a dynamic setting*. Carbon Neutrality Lab – Roma Tre University.
- AZNAR-SÁNCHEZ, J.Á., MANUEL, J., MENDOZA, F., INGRAO, C., FAILLA, S., BEZAMA, A., NEMECEK, T., & GALLEGO-SCHMID, A. (2020). Indicators for Circular Economy in the Agri-food Sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 163(July), 105028. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105028>.
- BRUNA MORONI. (2022, ottobre 27). *Spreco alimentare: I dati di Eurostat*.
- GREENREPORT.IT. (2021, novembre 9). *L'impronta di carbonio della filiera agroalimentare si vede nei supermercati*. <https://greenreport.it/news/clima/limpronta-di-carbonio-della-filiera-agroalimentare-si-vede-nei-supermercati/>.
- HARDER, R., GIAMPIETRO, M., & SMUKLER, S. (2021). Towards a circular nutrient economy. A novel way to analyze the circularity of nutrient flows in food systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 172, 105693. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105693>.
- JENS GÜNTHER, SASKIA MANSHOVEN, SUSANNA PALEARI, GREGORY FUCHS, AURÉLIEN CARRÉ, RIKKE FISCHER-BOGASON, & TOBIAS NIELSEN. (2023). *Circular Economy and Biodiversity*.
- OSORIO, L.L.D.R., FLÓREZ-LÓPEZ, E., & GRANDE-TOVAR, C.D. (2021). The Potential of Selected Agri-Food Loss and Waste to Contribute to a Circular Economy: Applications in the Food, Cosmetic and Pharmaceutical Industries. *Molecules*, 26(2), 515. <https://doi.org/10.3390/molecules26020515>.
- PETTA, (Luigi). (2021, marzo 22). *La gestione delle acque secondo i principi dell'economia circolare: Un'opportunità e un'esigenza non più rimandabile*. <https://economicircolare.com/economia-circolare-acqua/>.
- POPONI, S., ARCESE, G., PACCHERA, F., & MARTUCCI, O. (2022). Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: Selection of indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 176(October 2021), 105916. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105916>.
- SILVESTRI, C., SILVESTRI, L., PICCAROZZI, M., & RUGGIERI, A. (2022). Toward a framework for selecting indicators of measuring sustainability and circular economy in the agri-food sector: A systematic literature review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02032-1>.
- TUBIELLO, F.N., KARL, K., FLAMMINI, A., GÜTSCHOW, J., OBLI-LAYREA, G., CONCHEDDA, G., PAN, X., QI, S.Y., HALLDÓRUDÓTTIR

- HEIÐARSDÓTTIR, H., WANNER, N., QUADRELLI, R., ROCHA SOUZA, L., BENOIT, P., HAYEK, M., SANDALOW, D., MENCOS-CONTRERAS, E., ROSENZWEIG, C., ROSERO MONCAYO, J., CONFORTI, P., & TORERO, M. (2021). *Pre- and post-production processes along supply chains increasingly dominate GHG emissions from agri-food systems globally and in most countries* [Preprint]. *Energy and Emissions*. <https://doi.org/10.5194/essd-2021-389>.
- VELASCO-MUÑOZ, J.F., MENDOZA, J.M.F., AZNAR-SÁNCHEZ, J.A., & GALLEGO-SCHMID, A. (2021). Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies, and indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105618. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105618>.

Indicators for circular waste management in the agri-food sector: the application to a bio-district

Francesco Pacchera

Università della Tuscia

Stefano Poponi

Università della Tuscia

Gabriella Arcese

Università degli Studi Niccolò Cusano

Alessandro Ruggieri

Università della Tuscia

ABSTRACT

This study aims to assess the potential of a Bio-District as a model for implementing the circular economy. The main intention is to understand the capacity of organic farms to manage waste by adopting a circular approach, using indicators that directly or indirectly affect the Waste Scope. The study builds on previous research that identified and systematised circular indicators in the agri-food sector. From this research, indicators related to the Waste Scope were extracted and subsequently systematised and tested in a case study. The data used for the study comprised both primary data, obtained through a semi-structured interview, and secondary data from official databases. The processing of the data revealed two relevant results. Firstly, it was possible to define a sub-classification of indicators according to product and organisation, identifying those with a cross-cutting connection to the Waste Scope. Secondly, the application of the indicators highlighted the circular potential of farms and the possibility of waste valorisation within the Bio-District. Furthermore, the study made it possible to test a new indicator to assess the ability of farms to generate energy through the utilisation of waste.

KEYWORDS: Agri-food, Bio-district, Circular Economy, Indicator, Waste management, Tool

1 Introduction

The European organic regulation imposes strict rules on the production process, from seed use to the final processed product. It aims to promote production that prioritizes human health, environmental protection, and biodiversity. The Bio-Districts are territories where farmers, citi-

zens, and local authorities collaborate to manage local resources based on organic farming principles. The International Network of Eco-Regions also associates the terms of Bio-District with the term Organic-district and Eco-Regions, defining them as “territories where farmers, citizens, public authorities and other local actors realize a formal agreement aimed at the sustainable management of local resources, based on the principles and model of organic farming and the agroecological best practices, in order to boost the economic and sociocultural development of their community”. Italy has seen a significant growth in Bio-Districts, with the legislative recognition of the first Bio-District in Cilento in 2009 (Basile et al., 2021). Bio-Districts offer a model for sustainable production and consumption, promoting economic and environmental sustainability (Toccalci, 2015). They stimulate the reorganization of relationships between actors in the supply chains, allowing the adoption of a circular economy approach (S Poponi et al., 2021; Stefano Poponi et al., 2020). The agri-food chain can be made more sustainable, but it is fundamental to act on a systemic level (Ingrao et al., 2018; Notarnicola et al., 2012; Stefano Poponi, Arcese, Ruggieri, et al., 2022; Ruggieri et al., 2022). The application of the Circular Economy (CE) and its principles can be the key to transforming society and making production systems and communities more circular (Caputo et al., 2020; Gravagnuolo et al., 2019; Paiho et al., 2020). Indeed, the definition of CE (Kirchherr et al., 2017) emphasises the concept of end-of-life and the importance of intervening in waste management for spatial dimensions, which can be macro, meso or micro: “[...] It operates at the micro level (products, companies, consumers), meso level (eco-industrial parks), and macro level (city, region, nation and beyond), with the aim of achieving sustainable development, simultaneously creating environmental quality, economic prosperity and social equity, for the benefit of current generations and future. It is empowered by new business models and responsible consumers.” (Kirchherr et al., 2017).

The circular economy principles focus on minimizing waste and maximizing resource efficiency (Esposito et al., 2020; Krishnan et al., 2020). In the context of waste management, the circular economy principles can be applied to the agri-food sector. For a circular transition a fundamental point is the measurement of the performance of companies and organizations. Various indicators and methodologies have been proposed in the literature to evaluate circular economy strategies (De Pascale et al., 2021; Di Maio et al., 2017; Franklin-Johnson et al., 2016; Kazancoglu et al., 2018; Rossi et al., 2020; Virtanen et al., 2019). To assess the potential of Bio-Districts in the circular economy, particularly in waste management, the authors propose using indicators from a dashboard (Stefano Poponi, Arcese, Pacchera, et al., 2022). The dashboard systematizes circularity in-

dicators based on their spatial dimensions (macro, meso, micro), areas of application (economic, environmental, social), and scopes (such as waste). By applying these indicators, the waste management capacity of Bio-Districts can be evaluated. Therefore, the paper aims to assess the potential of Bio-District as a model for the application of the circular economy, concerning the Waste Scope. In particular, the aim is to understand the ability of Bio-Districts to manage waste in a circular perspective starting from the use of indicators that have a direct or indirect impact on the Waste Scope. The case study focuses on a farm in the Etruscan Roman Bio-District in Italy's Lazio region, which produces various vegetables. The indicators are tested to assess the farm's waste management capacity within a circular economy framework. The study focuses on Italy as the chosen geographical area, primarily because Bio-Districts have experienced significant growth across Europe in the past decade. To ensure a consistent and comparable analysis, the Lazio Region within Italy was specifically selected. This region not only hosts the highest concentration of Bio-Districts but also stands out for its well-developed agri-food sector, characterized by high-quality production deeply rooted in the local landscape (*Smart Specialisation Strategy (S3)- Lazio Region*, 2016).

Within the Lazio Region, the chosen Bio-District is the Etruscan Roman Bio-District, notable for being the first to receive recognition under the new Regional Law No. 11 of 12 July 2019, which focuses on regulating and promoting organic districts. The farm selected for analysis specializes in the production of regionally distinctive fruits and vegetables and boasts an advanced farm monitoring system that facilitates the extraction of timely data.

The contribution is structured as follows. In section 2 is defined the methodology used; in section 3 are presented the results and discussion. Finally, section 4 includes the conclusions and implications for further research.

2 Methodology

The "Scope Waste" encompasses indicators that address key issues related to food waste, the flow of products throughout their life cycle, and the economic and nutritional value of these products. The study follows the definition of food waste and loss proposed by (Amicarelli et al., 2021), focusing on food losses that primarily occur during agricultural production, post-harvest, and processing stages due to logistical or technical reasons.

To achieve its research objectives, the paper builds upon previous research that identified and organized circular indicators within an agri-food sector Dashboard developed by (Stefano Poponi, Arcese, Pacchera, et

al., 2022). This Dashboard considers spatial dimensions (macro, meso, micro), sustainability aspects (economic, social, and environmental), and the specific focus of the indicators (Air; Water; Soil; Energy; Waste; Cost-Value-Productivity; Equality; Knowledge and Innovation; Waste). Based on this research, indicators related to waste were extracted. Additionally, indicators with a cross-linkage to waste and applicable at the micro level were redefined and organized.

This process resulted in the identification of ten indicators, seven of which fall under the Waste Scope, while three are cross-linked to the Energy Scope. The ten indicators and their use in the literature are reported in detail.

2.1 Circular indicators

Vázquez-Rowe et al., (2020) used three indicators to assess circularity in Spain's agri-food supply chain. The first indicator, the Nutrient Rich Food Score (NRF9.3), evaluates the nutritional impact or loss associated with wasted food by considering nine daily nutrient values. The second indicator, Economic Food Loss and Waste (EFLW), quantifies the economic impact of food wastage in euros, factoring in the amount of wasted food and its original price. Lastly, the Nutritional Cost Footprint (NCF) combines NRF and EFLW to provide an overall measure of the economic and nutritional impact of wasted food.

Pagotto & Halog, (2016), assessed circularity in Australia's agri-food system using the Waste Sent to Landfill (WSL) indicator. This indicator measures the quantity of food waste disposed of in landfills, considering both the amount of products discarded and the total tons of finished agri-food products (functional unit: kg/t).

The Package to Product (PtP) indicator evaluates the environmental impact of food packaging, calculated as the ratio of the climate change impact given by the packaging to the climate change impact given by the product. Was used by (Šerešová & Kočí, 2020) to assess the environmental impact of food packaging.

The Nutrient Circularity Indicator (NCI) was used by Cobo et al., (2018) to assesses circularity in food waste management by considering nutrient content in food and food waste.

The indicator recycling rates (Rr) monitor the percentage of agri-food waste that is recycled and recovered, was used by Pagotto & Halog, (2016) for providing a holistic evaluation of circularity in Australia's agri-food system.

Sgarbossa & Russo, (2017) employ three indicators to gauge the impact of energy on the circular economy approach, particularly within a closed-loop perspective. These indicators, although indirectly related to

waste, have a cross-linked effect on the Waste Scope. They include the Recovery of Energy by Using Waste (EE_P) indicator, which measures energy generated from waste recovery, the Energy Required (EE_R) indicator, which calculates the energy needed in the waste-generating production process, and the Energy Self-Sufficiency (ESS) indicator, which expresses energy self-sufficiency as a function of waste recovery and valorization.

2.2 Data source

The study utilized both primary and secondary data sources. Primary data was obtained through a semi-structured interview with the farm owner, conducted following the approach outlined by Eisenhardt & Graebner, (2007). This interview, conducted on-site at the farm in September 2021, lasted approximately 2 hours and aimed to gather information about the farm's characteristics and individual organic production. The collected primary data underwent iterative processing by the authors to ensure reproducibility and reliability, following (Neuendorf, 2016).

In addition to primary data, secondary data was employed to supplement technical information essential for the analysis and the calculation of indicators. This supplementary information, which was exclusively technical in nature and pertained to aspects like nutritional characteristics, original prices, and the calorific value of biomass, was not available from the farm itself. To source this data, the study relied on external sources, including the 'Food Composition Tables' (CREA, 2019), the ISMEA database (ISMEA, 2022), and the Ecoinvent database (Ecoinvent, 2022). The collection and management of secondary data followed the documentary analysis method as outlined by Fitzgerald, (2012).

3 Results and Discussion

This section presents the results obtained from applying the indicators in the case study, and it identifies two key findings based on the nature of these indicators.

The first group of indicators exclusively applies at the product level. These include the following indicators: NCF, EFLW, NRF9.3, all of which fall under the Waste Scope (as shown in Table 1).

The second group consists of indicators that are relevant at the organizational level (as detailed in Table 2). In this group, indicators WSL and R_r are cross-sectional, meaning they can be applied across different spatial dimensions (macro-meso-micro levels). Indicators EE_P , EE_R , EES are cross-linked, belonging to the Energy Scope but having an indirect impact on the Waste Scope.

In summary, the results demonstrate that these indicators are effective in providing an initial overview of circularity.

The “Economic Food Loss and Waste” (EFLW) indicator measures the economic value lost due to wasted products. While the indicator accounts for both types of waste mentioned in the methodology, data collection limitations in the observed activity only allow for data extraction related to food loss. The indicator helps identify unsold products, which represent around 10% of the total but are conventionally considered as a reference value. These surplus unsold products can be viewed as waste, but they also serve as a safety stock to respond to demand fluctuations, land productivity variations, and risks like diseases or adverse weather events. This safety stock helps prevent potential insolvency with end customers.

Additionally, the indicator highlights the total value of economic production waste per hectare, estimated at €30,000. Due to data unavailability for specific products, such as beet, chicory, and pumpkin, waste is calculated at €1,071 per hectare.

The “Nutrient Rich Food Score” (NRF9.3) assesses nutrient loss compared to recommended daily values for each product. NRF9.3 is not a direct measure of food loss or waste but is used to calculate the subsequent “Nutritional Cost Footprint” (NCF), which combines nutritional and economic aspects of wasted products. Certain products, like lettuce or cauliflower, contribute significantly to the total waste footprint. However, the indicator has limitations, such as its complexity due to difficulties in reconciling literature values with farm-specific data. It also lacks comparability across different farms since the formula normalization only allows comparisons within the observed case study. The indicator does not account for the relationship between product wastage and cultivated area size, which would require a functional unit for comparison between farms. Additionally, it doesn’t consider variations in nutrient degradation times among different products, as highlighted by Garcia-Herrero et al., (2019).

Waste sent to landfill (WSL) yielded a result of zero, indicating that the farm effectively recycles plant material and unsold products through green manure, enriching soil fertility. It’s suitable for activities where landfill disposal is more common due to machinery or materials used.

Package to Product (PtP) returned a value of zero because the farm’s business model avoids the use of packaging. Reusable plastic crates are employed in the field, and customers handle packaging during collection, reducing costs and environmental impacts.

Nutrient circularity indicator (NCI) achieved the maximum value, primarily due to the farm’s natural recovery activities, particularly green manure, which effectively recovers nutrients.

Recycling rates (Rr) reached the maximum value, signifying that

the farm effectively recycles waste. Notably, 10% of unsold products left in the field and a substantial portion of vegetable waste (36%) can potentially be valorized within a Circular Economy framework.

Recovery of energy by using waste (EE_p) resulted in zero because the farm does not engage in energy recovery activities; waste remains in the field.

Energy required (EE_R) monitors the energy needed for production processes where waste is generated. In this case, the value is 0.23 Gw/year, representing energy consumption for tasks like water lifting for irrigation and vehicle traction (diesel).

Energy self-sufficiency indicator (ESS) yielded a value of zero in this case because the farm does not recover energy from waste. This ratio reflects the absence of energy recovery activities on the farm.

Overall, these indicators provide insights into the farm's waste management practices and resource utilization, highlighting its environmentally friendly approaches in various aspects, such as recycling, packaging, and energy use.

The analysis of indicators in the waste management context reveals a sub-classification based on the Scope of application, specifically related to product and organization. The application of these indicators demonstrates the circular potential of the farm, focusing on production, waste loss levels, and economic value. While the farm maximizes the recyclability of production, the optimization of waste valorization may not be optimal. The study introduces two additional factors: the economic value of waste and its valorization potential. The Economic Food Loss and Waste (EFLW) indicator calculates the economic value of waste associated with the amount of food remaining in the field. Additionally, the study introduces a new indicator, "Potential Energy Biomass Recovery," which measures the energy potential that can be generated from the biomass remaining in the field. This indicator highlights the potential for energy generation from waste, stimulating reflection on waste value optimization and new potential uses (Table 3). The results indicate that the farm has an energy potential exceeding its needs, indicating the possibility of monetizing the economic value of waste and creating a sustainable energy plant within the Bio-District. Furthermore, the study considers the reintroduction of nutrients into the soil's biological cycle, comparing the value loss generated per hectare with the marginal cost of organic fertilizer. The economic value of waste surpasses the marginal cost of fertilizer, suggesting potential waste valorization actions at both the farm and Bio-District levels. The economic reading of circular waste management indicators reveals the potential for intervention through circular policies within farms. The high valorization of waste indicates opportunities for energy and nutrient valorization and suggests potential for future valorization efforts. At the Bio-District level, this implies construct-

ing a new supply chain for waste valorization through inter-organizational resource exchange. Such exchanges can involve the creation of shared biogas plants or the utilization of waste's chemical and biological properties in a circular economy approach. Integrated supply chains and sustainable development can result from these efforts, benefiting the area in which the Bio-District operates.

Product	EFLW (€)	NRF (score/100kcal)	NCF (unit)
Lettuce	€ 7,137.00	393.35	0.81
Cauliflower	€ 5,040.00	380.36	0.65
Beet	n.a.	637.51	n.a.
Chicory	n.a.	130.26	n.a.
Cabbage	€ 2,470.00	53.22	0.21
Potato	€ 920.00	61.65	0.11
Tomato	€ 3,944.00	222.07	0.45
Pumpkin	n.a.	411.08	n.a.
Zucchini	€ 3,300.00	211.14	0.40
Aubergine	€ 1,960.00	142.69	0.25
Carrot	€ 1,440.00	430.21	0.44
Melon	€ 860.00	212.86	0.23
Watermelon	€ 2,145.00	27.51	0.17
Total	€ 29.216,00		

Table 1 – Results of product indicators

Source: our elaboration on data

Scope	Indicator	Value	Unit of Measure
WASTE	WSL	0	kg/tonne of finished product
	PtP	0	%
	NCI	1	(0-1)
	Rr	100	%

ENERGY	EE _P	0	GW/year
	EE _R	0.233	GW/year
	ESS	0	Unit

Table 2 – Results of indicators at organization level

Source: our elaboration on data

Product	Waste (ton.)	Calorific value 1 kg (MJ)	Calorific Value (MJ)
Lettuce	7.8	1.2	9,516
Cauliflower	36.0	1.8	64,800
Beet	14.0	n.a.	n.a.
Chicory	4.6	n.a.	n.a.
Cabbage	20.8	3.0	61,984
Potato	10.0	3.5	34,800
Tomato	14.5	0.9	13,108
Pumpkin	40.0	n.a.	n.a.
Zucchini	16.5	1.3	20,625
Aubergine	10.0	1.6	16,000
Carrot	15.0	2.2	32,700
Melon	10.0	1.5	14,700
Watermelon	16.5	n.a.	n.a.
Total	215.7		268,233.0

Table 3 – The calorific value of biomass

Source: our elaboration on data and Ecoinvent database (Ecoinvent, 2022)

4 Conclusions

The study revealed two relevant results. Firstly, it was possible to define a sub-classification of indicators according to product and organisation, identifying those with a cross-cutting connection to the Waste Scope. Secondly, the application of the indicators highlighted the circular potential of farms and the possibility of waste valorisation within the Bio-District. Furthermore, the study made it possible to test a new indicator to assess

the ability of farms to generate energy through the utilisation of waste.

The paper's findings have important implications at multiple levels: research, management, and policy.

At the research level, there is a need to develop specific indicators to address gaps in the Dashboard and better represent the unique context of each farm. For example, a new indicator is required to assess the potential utilization of farm waste, which is not currently covered by existing indicators. Additionally, a new classification of indicators, focusing on product and organization, should be introduced to capture the potential of the Circular Economy more effectively. Consideration should also be given to the cross-linked nature of indicators and their integration into the Dashboard.

At the managerial level, the results from these indicators suggest the adoption of new circular business models within a District framework. This approach involves integrating various stakeholders, valorizing secondary raw materials, and fostering symbiotic relationships among operators.

On the policy front, the findings emphasize the importance of actively promoting Circular Economy policies within Bio-Districts. Existing policies primarily focus on aggregating organic operators and legally recognizing Bio-Districts. However, new policies should go further by encouraging the establishment of governance structures for Bio-Districts, which can engage operators in sustainable practices and the creation of new, environmentally friendly supply chains.

This research is exploratory and based on a single case study in the Etruscan Roman Bio-District in Italy. Future research steps will expand the analysis to include a larger number of enterprises, enabling a comparative analysis across different scopes and related cross-linked indicators.

References

- AMICARELLI, V., BUX, C., & LAGIOIA, G. (2021). How to measure food loss and waste? A material flow analysis application. *British Food Journal*, 123(1), 67-85. <https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2020-0241>.
- BASILE, S., BUONOMO, E., & BASILE, R. (2021). *Report on Organic Districts (or Eco-Regions or Bio-Districts) in Europe*. www.organicdistricts.eu.
- CAPUTO, P., FERRARI, S., & ZAGARELLA, F. (2020). *Urban Renovation: An Opportunity for Economic Development, Environmental Improvement, and Social Redemption BT - Regeneration of the Built Environment from a Circular Economy Perspective* (S. Della Torre, S. Cattaneo, C. Lenzi, & A. Zanelli (eds.); pp. 125-135). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33256-3_13.
- COBO, S., DOMINGUEZ-RAMOS, A., & IRABIEN, A. (2018). Trade-Offs between Nutrient Circularity and Environmental Impacts in the Management of Organic Waste. *Environmental Science and Technology*, 52(19), 10923-10933. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01590>.
- CREA. (2019). *Tabelle nutrizionali degli alimenti*. <https://www.alimentinutrizione.it/sezioni/tabelle-nutrizionali>.
- DE PASCALE, A., ARBOLINO, R., SZOPIK-DEPCZYŃSKA, K., LIMOSANI, M., & IOPPOLO, G. (2021). A systematic review for measuring circular economy: The 61 indicators. *Journal of Cleaner Production*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124942>.
- DI MAIO, F., REM, P.C., BALDÉ, K., & POLDER, M. (2017). Measuring resource efficiency and circular economy: A market value approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.009>
- Ecoinvent. (2022). *Database Ecoinvent*. <https://ecoinvent.org/>.
- EISENHARDT, K. ., & GRAEBNER, M.E. (2007). Theory building from cases: opportunities and challenges. *Academy of Management Journal*, 50(1), 25-32.
- ESPOSITO, B., SESSA, M.R., SICA, D., & MALANDRINO, O. (2020). Towards circular economy in the agri-food sector. A systematic literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/SU12187401>.
- FITZGERALD, T. (2012). Documents and documentary analysis. *Research Methods in Educational Leadership and Management*, 3(296-308).
- FRANKLIN-JOHNSON, E., FIGGE, F., & CANNING, L. (2016). Resource duration as a managerial indicator for Circular Economy performance. *Journal of Cleaner Production*, 133, 589-598. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.023>.

- GARCIA-HERRERO, I., MARGALLO, M., LASO, J., BATLLE-BAYER, L., BALA, A., FULLANA-I-PALMER, P., VAZQUEZ-ROWE, I., GONZALEZ, M.J., AMO-SETIEN, F., DURÁ, M.J., SARABIA, C., ABAJAS, R., QUIÑONES, A., IRABIEN, A., & ALDACO, R. (2019). Nutritional data management of food losses and waste under a life cycle approach: Case study of the Spanish agri-food system. *Journal of Food Composition and Analysis*, 82(February 2018), 103223. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.05.006>.
- GRAVAGNUOLO, A., ANGRISANO, M., & GIRARD, L.F. (2019). Circular economy strategies in eight historic port cities: Criteria and indicators towards a circular city assessment framework. *Sustainability (Switzerland)*, 11(13). <https://doi.org/10.3390/su11133512>.
- INGRAO, C., FACCILONGO, N., DI GIOIA, L., & MESSINEO, A. (2018). Food waste recovery into energy in a circular economy perspective: A comprehensive review of aspects related to plant operation and environmental assessment. *Journal of Cleaner Production*, 184, 869-892. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.267>.
- ISMEA. (2022). *Prodotti biologici – prezzi medi all’origine – Ortofrutta*. <https://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/1881>.
- KAZANCOGLU, Y., KAZANCOGLU, I., & SAGNAK, M. (2018). A new holistic conceptual framework for green supply chain management performance assessment based on circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 195, 1282-1299. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.015>.
- KIRCHHERR, J., REIKE, D., & HEKKERT, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(September), 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- KRISHNAN, R., AGARWAL, R., BAJADA, C., & ARSHINDER, K. (2020). Re-designing a food supply chain for environmental sustainability – An analysis of resource use and recovery. *Journal of Cleaner Production*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118374>.
- NEUENDORE, A. (2016). *The Content Analysis Guidebook* (Second). SAGE Publications Inc.
- NOTARNICOLA, B., HAYASHI, K., CURRAN, M.A., & HUISINGH, D. (2012). Progress in working towards a more sustainable agri-food industry. *Journal of Cleaner Production*, 28, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.007>.
- PAGOTTO, M., & HALOG, A. (2016). Towards a Circular Economy in Australian Agri-food Industry: An Application of Input-Output Oriented Approaches for Analyzing Resource Efficiency and Competitiveness Potential. *Journal of Industrial Ecology*, 20(5), 1176-1186. <https://doi.org/10.1111/jiec.12373>.

- PAIHO, S., MÄKI, E., WESSBERG, N., PAAVOLA, M., TUOMINEN, P., ANTIKAINEN, M., HEIKKILÄ, J., ROZADO, C.A., & JUNG, N. (2020). Towards circular cities—Conceptualizing core aspects. *Sustainable Cities and Society*, 59(January), 102143. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102143>.
- POPONI, S., ARCESE, G., MOSCONI, E.M., PACCHERA, F., MARTUCCI, O., & ELMO, G.C. (2021). Multi-actor governance for a circular economy in the agri-food sector: Bio-districts. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13094718>.
- POPONI, STEFANO, ARCESE, G., PACCHERA, F., & MARTUCCI, O. (2022). Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: Selection of indicators. *Resources, Conservation & Recycling*, 176(September 2021), 105916. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105916>.
- POPONI, STEFANO, ARCESE, G., RUGGIERI, A., & PACCHERA, F. (2022). Value optimisation for the agri-food sector: A circular economy approach. *Business Strategy and the Environment*, November 2021, 1-18. <https://doi.org/10.1002/bse.3274>.
- POPONI, STEFANO, MOSCONI, E.M., & PACCHERA, F. (2020). A BIO-DISTRICT for circular economy. In *Le Scienze Merceologiche nell'era 4.0. XXIX Congresso Nazionale di Scienze Merceologiche* (pp. 543-551). FrancoAngeli. *Smart Specialisation Strategy (S3)- Lazio Region*, (2016) (testimony of Regione Lazio).
- ROSSI, E., BERTASSINI, A.C., FERREIRA, C. DOS S., NEVES DO AMARAL, W.A., & OMETTO, A.R. (2020). Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro- electronic cases. *Journal of Cleaner Production*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119137>.
- RUGGIERI, A., POPONI, S., PACCHERA, F., & FORTUNA, F. (2022). Life cycle - based dashboard for circular agri - food sector. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02118-w>.
- ŠEREŠOVÁ, M., & KOČÍ, V. (2020). Proposal of package-to-product indicator for carbon footprint assessment with focus on the Czech Republic. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/su12073034>.
- SGARBOSSA, F., & RUSSO, I. (2017). A proactive model in sustainable food supply chain: Insight from a case study. *International Journal of Production Economics*, 183(2017), 596-606. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.07.022>.
- TOCCACELI, D. (2015). Agricultural districts in the Italian regions: looking toward 2020. *Agricultural and Food Economics*, 3(1), 357-359. <https://doi.org/10.1186/s40100-014-0019-9>.

- VÁZQUEZ-ROWE, I., LASO, J., MARGALLO, M., GARCIA-HERRERO, I., HOEHN, D., AMO-SETIÉN, F., BALA, A., ABAJAS, R., SARABIA, C., DURÁ, M.J., FULLANA-I-PALMER, P., & ALDACO, R. (2020). Food loss and waste metrics: a proposed nutritional cost footprint linking linear programming and life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(7), 1197-1209. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01655-1>.
- VIRTANEN, M., MANSKINEN, K., UUSITALO, V., SYVÄNNE, J., & CURA, K. (2019). Regional material flow tools to promote circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1020-1025. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.326>.

Piloting change: exploring the SIRCLES project's circular economy model for biowaste in the mediterranean

Leonardo Borsacchi

University of Florence

Gabriele Feligioni

University of Florence

Camilla Guasti

University of Florence

Daniela Tacconi

University of Florence

ABSTRACT

Nowadays, thanks to the adoption of circular economy policies and practices, it is possible to address global challenges by implementing sustainable models of production and consumption, distribution systems, and business practices. This entails considering economic, social, cultural, and environmental aspects of sustainability. The transition to a circular economy poses challenges for institutions, cities, and organizations. The ENI CBC MED – SIRCLES project (February 2021 – October 2023) aimed to develop skills and create employment opportunities within the circular economy, particularly for NEETs and women, through specialized training in organic waste management and its use in pilot composting facilities. At the urban level, the collection and composting of organic waste significantly contribute to sustainable waste management. The SIRCLES model had to contend with opportunities and threats in its application in various Mediterranean countries, each with different waste management legislation, policies, and levels of citizen awareness. SIRCLES also focused on the long-term sustainability of composting facilities through the engagement of local authorities. This paper provides an overview of the SIRCLES approach, focusing on the seven pilot projects implemented during the project in Greece, Jordan, Italy, Lebanon, Palestine, Spain, and Tunisia to illustrate lessons learned and key challenges. Based on these findings, potential future scenarios and recommendations have been formulated for local authorities to promote the adoption of the SIRCLES model and its replicability in different contexts.

KEYWORDS: circular economy, biowaste, compost, cooperation, NEETs, women.

1 Introduction

The introduction of the circular city as a concept and practice in sustainable urban development is a response to the challenges of urbanization. The transition from a linear to a circular economy involves decoupling resource use from economic activity, maintaining the value and utility of products, components, materials, and nutrients for as long as possible (European Parliament, 2022). By closing material loops and minimizing harmful resource use and waste generation, cities aim to improve human well-being, reduce emissions, protect biodiversity, and promote social justice in alignment with the Sustainable Development Goals (European Circular Cities Declaration, 2020). Circular economy affects indeed all the dimensions of sustainability: economic, social, cultural, and environmental. By the adoption of a circularity approach, it is possible to close the loop of materials flow. Thus, life cycle extension strategies are pursued, extending the useful life of products acting at the designing stage, or carrying out actions at the end of the pipe, to prevent the disposal of the product's component. These can be productively used again and again, thereby creating further value. At the urban level, circular economy principles need to be managed in an integrated manner by policy makers and relevant stakeholders (Ellen MacArthur Foundation, no date). Embracing a circular production approach, companies could ingeniously convert these by-products into valuable resources, further driving the sustainable evolution of our communities. This way of thinking, called Life Cycle Thinking, allows one to think about the environmental, economic and social consequences of a product during its entire life cycle (Shahjadi, Parvez, Nazmul, 2021). Therefore, an industrial ecosystem represents a group of enterprises that utilize each other's materials and by-products, reducing the generation of new waste and favouring potential initiatives of industrial symbiosis (Borsacchi and Pinelli, 2018).

By adopting a Life Cycle Thinking approach, SIRCLES project willing to develop skills and favour new job opportunities in the circular economy sector. SIRCLES—Supporting Circular Economy Opportunities for Employment and Social Inclusion - is a project funded by the European Union under the ENI CBC Med Sea Basin Programme. The project was implemented in Spain, Greece, Palestine, Jordan, Lebanon, Tunisia, Italy between 2021-2023 by the Waste Agency of Catalonia and nine partners, namely Formació I Treball Empresa d'Inserció S.L.U (Training and Employment Labour Insertion Company, Catalonia), National Technical University of Athens (Greece), Organization Earth (Greece), House of Water and Environment (Palestine), EDAMA Association for Energy, Water and Environment (Jordan), Rene Moawad Foundation (Lebanon), Tunisia

ECOTOURISM (Tunisia), Italian Composting and Biogas Association (Italy) and ARCO – PIN, University of Florence (Italy). SIRCLES overall objective was to contribute to the alleviation of poverty and the social inclusion of NEETs¹ and women, through the creation of green jobs. New employment opportunities were promoted by applying the circular economy model in the biowaste sector. A total of 7 pilot composting plants were set up in each partner country engaging the local hotel, food retail, household, and farming sectors in green and circular economy practices. The pilots served as training hubs for NEETs and women to develop new skills and capacities in separation, collection, composting and agriculture practices as well as business development.

A circular economy model applied to a city involves a comprehensive approach to waste management and resource utilization. It begins with the understanding that waste generation is inevitable, both from households and production activities. However, instead of treating waste as a burden, it is seen as a valuable resource that can be utilized in a sustainable manner.

Following the approach developed and tested within the framework of the project SIRCLES, the proposed general model starts with waste collection systems that ensure proper separation and sorting of waste at the source. Through these processes, the waste could be transformed into new added value products. For example, organic waste can be processed into compost for agricultural use. If agriculture is to be made sustainable, few activities like composting are very important. Composting not only allows organic waste of agricultural origin to be recycled and returned to the soil, but also provides a solution for managing much of the waste, which is currently a major problem. If urban organic waste is selectively collected and composted, it no longer represents a problem for the city, and, if wisely applied, will enrich the soil, thus promoting the preservation or improvement of the organic matter reserves of the soil (Füleky, G., Benedek, S., 2009). For instance, the compost can be utilized by local farmers.

To support a circular economy model, a legal framework is essential. This framework includes regulations and policies that encourage waste reduction, recycling, and the use of sustainable materials. It also promotes responsible waste management practices and sets targets for waste diversion and resource recovery. Furthermore, the success of the circular economy model relies on the active involvement and awareness of all main stakeholders at the urban level. This includes citizens, who are encouraged to practice waste segregation and adopt sustainable consumption habits. It also involves

¹ NEET stands for “Not in Education, Employment, or Training.” It is a term commonly used to describe young people, typically those in the age group of 16 to 24, who are not engaged in formal education, employment, or vocational training programs.

academia, which can contribute research and innovation to enhance waste management practices. Local institutions also play a crucial role in implementing and enforcing waste management policies, while industries are encouraged to adopt eco-friendly production practices and utilize recycled materials. The collection and composting of organic waste play a crucial role in sustainable waste management practices. Population growth and increased food demand have increased global waste (Mishra, B. et al., 2023), that is why it is important to put organic waste into closed-loop models that do not create more waste, but new value. Compost can be obtained from various organic solid wastes, including green waste (grass, branches, woodchips, and leaves), agricultural waste, food waste, manure. (Lohri et al., 2017). In general terms, start-up of an organic waste fraction collection and composting activity must consider technological, regulatory and awareness elements, with the aim of making the intervention sustainable. In particular:

1. Identify a suitable area for the installation of the pilot plant, preferably in a sparsely populated area away from dwellings, to avoid possible disturbance to the population. An environmental impact assessment study should be developed and approved by the local authority.
2. Raise awareness in the local community of the importance of composting and involve residents in the process. Organise information meetings and provide educational material to explain the benefits and practices of home composting.
3. Acquire the materials needed to start up the pilot plant, such as containers for collecting organic waste, equipment for mixing and aerating the compost, and soil or organic material to be used as a starter to accelerate the decomposition process.
4. Start collecting organic waste from residents, providing them with special containers and detailed instructions on what can and cannot be composted. Organise a regular collection calendar and ensure the proper handling of the collected waste.
5. Constantly monitor the pilot plant to ensure that composting is carried out correctly and without problems. Carry out regular checks of the temperature, humidity, and oxygenation within the plant to ensure optimal conditions for the decomposition of organic waste.

The application of the SIRCLES model for biowaste (figure 1) faced opportunities and threats in its application in different Mediterranean countries, each with unique legislation, waste management policies, and levels of citizen awareness. The aim was to explore the challenges faced by the 7 pilots, particularly in terms of starting from scratch, and the potential for producing compost for local agricultural use.

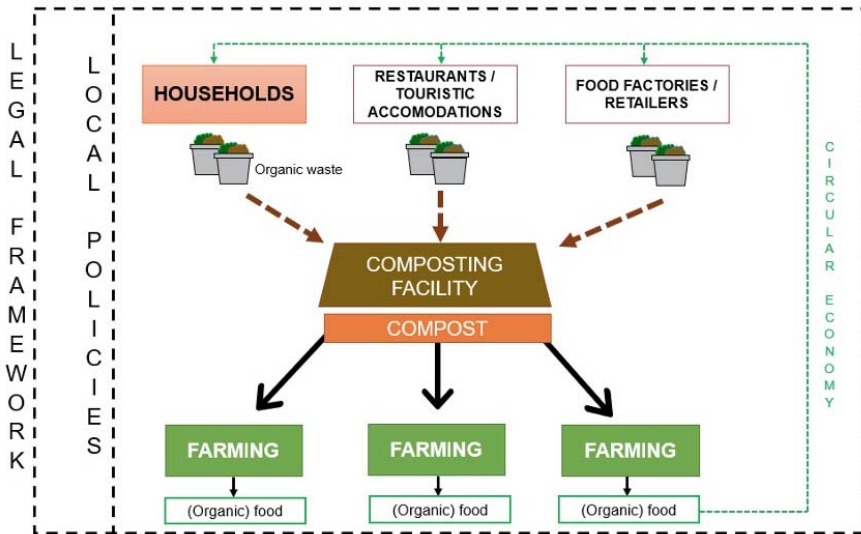


Figure 1 – SIRCLES model for biowaste

Source: authors’ elaboration from the originally published in SIRCLES “Institutional mapping and target group analysis in partnering countries, Toolkit”, 2022)

In the proposed model, the challenge is to organize a regular and structured collection of organic waste from restaurants, tourist facilities, grocery stores, and households. Depending on the maturity of existing waste separation practices, information and awareness campaigns have been implemented by the project. Agreements for the disposal of organic waste have been established with various businesses. Through the logistics coordinated by the project, organic waste is transported to the pilot composting facility, where it is processed by NEETs and trained and employed women under professional supervision. The ultimate goal of the compost produced is to be sold in the local agricultural market, aiming to complete the cycle. Depending on the context, the model must adapt to the regulatory framework and local policies. Within the project, the pilot facilities faced varying circumstances. In Italy, for example, the plant was already in place, while in Catalonia, the pilot was new but operated in an environment already prepared for waste management. However, other countries encountered significant challenges, with the entire waste management process being new, from separate collection to waste management protocols. In fact, legislation related to waste management was found to be lacking in many countries, including Lebanon, Tunisia, Palestine, Greece, and Jordan.

The replicability of the pilot projects in other contexts was a crucial

question and remained up to the agenda until the end of the project. The support of regional or national authorities was seen as essential for their success. Thus, their involvement, together with local authorities in promoting the project was seen as crucial. Municipalities played a role in ensuring sustainability by creating job opportunities in the green sector. Consequently, one of the main objectives of the project was to train NEET and women, with the composting plant serving as a valuable training tool.

2 Methodology

This paper, starting from the experiences of SIRCLES' pilots, proposes policy measures that can support and enhance the implementation of the SIRCLES model in different contexts.

The methodology followed to collect information is described in the following table 1:

Method	Activity	Target Group
0. Literature and desk review	N/A	N/A
A. Questionnaire for pilot composting plants in-job trainees	The questionnaire was administered in 5 different languages (English, Italian, French, Arabic, and Greek). It was completed by a total of 112 respondents across partner countries out of 121 project total in-job trainees (92,6% completion rate).	SIRCLES pilot composting plants in-job trainees (N=112)
B. Questionnaire for pilot composting plants stakeholders	Potential project benefits and impacts for the wider group of stakeholders were assessed indirectly via targeted respondents' perceptions and opinions. The questionnaire was completed by a total of 71 respondents across partner countries.	SIRCLES pilot composting plants stakeholders (N=71)
C. Semi-structured interview	In parallel to the surveys administration, ARCO/PIN S.c.r.l. conducted a round of 9 semi-structured interviews with pilot managers in all partner countries.	SIRCLES pilot managers from project partner organisations (N=9)

D. Focus-group discussion	ARCO/PIN S.c.r.l. facilitated a Structured Focus Group Discussion with pilot managers from partner countries. Participants were invited to exchange and discuss on what practices and behaviours key local stakeholders should adopt for the sustainability of the composting pilots across countries, ranging from citizens, local industries and economic activities, universities and local authorities, among others.	SIRCLES pilot managers from project partner organisations (1 FGD)
---------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------

Table 1 – Methodology activities and methods

Source: authors'

3 Results and Discussion

The pilot organic facilities included in SIRCLES project are in: Aqaba (Jordan), Andros (Greece), Beitello (Palestine), Byblos (Lebanon), Bizerte (Tunisia), Valle d'Itria (Italy), Vila Seca (Catalunia). One key aspect of the pilot plants was the engagement of NEETs and women, whose involvement not only supports the project's objectives but also provides employment opportunities and contributes to the socioeconomic development of the local communities. By empowering these individuals and addressing social and economic challenges, the project created a more inclusive and prosperous society.

The production of compost by these pilot plants served as a valuable resource for soil enhancement and sustainable agricultural practices. Purposes was not only the reliance on chemical fertilizers but also promotes a more environmentally friendly approach to farming. Through awareness campaigns and citizen engagement, the pilot also encouraged active participation and fostered a culture of responsible waste management. By educating the public about the benefits of composting and encouraging their involvement, these initiatives aimed to create a collective effort towards producing high-quality compost and reducing waste.

Overall, the experiences of these pilot composting facilities highlighted the potential for collaboration between municipalities, businesses, and local communities in achieving sustainable waste management. Their experiences served as an inspiration for other regions seeking to adopt similar approaches, ultimately contributing to a more environmentally sustainable and socially inclusive future. In the following table 2, for each composting plan, are described the status (in September 2023), the total number of NEETs and women involved, as well as main challenges emerged and main lesson learned.

Composting plant	Status	NEETs and women involved	Main challenge	Main lesson learned
Aqaba (Jordan)	In operation since January 2023	10	i) Choose the location of the pilot location took time and caused delays, Transportation issues. ii) Legislation issues (not allowed to use food waste as compost); iii) Small scale pilot not able to manage all collected biowaste.	i) Engage local NGOs and social groups to reach NEETs and women in the local society that could benefit from this opportunity; ii) Good to encourage bigger communities iii) Having a pilot provides evidence to demonstrate the government that composting from food waste is fine and safe.
Andros (Greece)	In operation since November 2022	18	i) Political disagreements; ii) Last minute exit of the recycling company; iii) Stakeholders affiliated with local political parties initially show interest but, due to political reasons, distance themselves from the project later; iv) Installing a composting plant on an island is more challenging.	Need to involve local institutions from the beginning of the project. i) presence of experienced technicians able to solve all operational problems; ii) Use of collection bins at family level increase awareness and participation in the waste separation.
Beitello (Palestine)	Operational	23	i) Operation and maintenance; ii) Keep impurities level low; iii) NEETs need to be educated; iv) Transport costs; v) situation in West Bank is a problem for the sustainability and replicability.	i) Ramallah Municipality paid gate fees; ii) Beitello village council covers part of the operation and maintenance cost; iii) Private sector must be involved: to provide bio waste and to sell compost; iv) Government should adopt policies to encourage making compost.

Byblos (Palestine)	Operational	23	i) Transportation issues (due to licensing; Truck registration problem due to governmental agencies shut down); ii) High cost of fuel; iii) Small available area; iv) Impurities may be high or rise if sensitization is not kept constant over time	i) Multiple agreements signed and engagement of the stakeholders; ii) Lebanese pilot, despite the difficult situation in the country, showcased a positive approach
Bizerte (Tunisia)	Operational	80	i) Waste separation at the source is critical; ii) Transportation cost can be a significant challenge in the operation of a composting plant; iii) High labour costs can impact the economic viability of the operation, especially if labour-intensive tasks are not optimized or automated; iv) Keep NEETs and women engaged.	i) Facility must be located close to waste generators; ii) Active role of the pilot in providing education on environmental management, organic waste treatment, agricultural practices; iii) Cooperations with the Ministry of Agriculture; iv) Encourage more people in adopting circular practice in their homes and communities.
Vila Seca (Catalunia)	Operational	12	i) Absence of economic support by the Municipality; ii) Constant management by professionals composters; iii) NEETs to be kept motivated; iv) Sustainability of the facility after the end of the project.	i) Organisation and promotion of awareness campaign about compost production and use of quality compost in agriculture
Valle d'Itria (Italy)	Operational	7	i) Unemployed young people with little interest in doing this kind of work; ii) Improving biowaste quality and habits of citizens by means of NEETs will be challenging; iii) Keep restaurants engaged in providing well separated organic waste.	i) Pilot focused on public awareness to improve quality of final compost; ii) Young people not aware on compost production from organic fraction; iii) Periodical awareness to citizens are essential.

Table 2 – General situation of the seven pilots

Source: authors'

For the affirmation and replication of a SIRCLEs model, local authorities and policymakers have to support, plan, and manage material input flows required. So far, the following points constitute the precondi-

tion for the effective implementation of the model: i) Awareness and knowledge of the material; ii) Deep understanding of the supply chain and local context; iii) Community awareness with respect to waste collection; iv) System of incentives. Local authorities should play an important role in piloting the overall cooperation and coordination among citizens, industries, and academia, and addressing them relevant policies. The experience demonstrated by composting pilot facilities highlights the pivotal role that local authorities play in the adoption of models such as SIRCLES. Therefore, it is imperative to advocate for dedicated policies aimed at raising awareness and ensuring the sustainability of organic waste collection, treatment, as well as the local agricultural utilization of compost. To this end, the promotion of targeted policies becomes instrumental in fostering community engagement, enhancing environmental responsibility, and supporting the circular transition of organic waste resources into valuable assets for local agriculture. These policies should encompass a holistic approach, addressing not only the technical aspects of waste management but also the social and economic dimensions to maximize the benefits of such initiatives. By doing so, local authorities can catalyze the transformation of organic waste into a valuable resource, contributing to sustainable agriculture and a more circular economy.

Citizens are essential for promoting the circular economy in cities. To do this, it is crucial to change their behaviours by encouraging waste separation. This can be achieved for example by providing special bins and containers at home and on the streets. Local authorities must raise awareness among citizens about the importance of waste collection and separation, mainly providing information about waste destinations. Cities should invest in awareness campaigns to ensure high-quality organic waste with reduced impurities for composting. These campaigns should be refreshed annually through events and initiatives. Moreover, education in schools, especially at the primary level, is crucial and promoting the circular economy among kids and teens helps inspire a culture of sustainability. Also, ongoing communication with citizens is crucial. Use social media, newsletters, and events to maintain awareness and encourage participation in waste separation and the circular economy. The success of the circular economy depends on citizens' active engagement in waste separation and recycling.

Industries and economic activities, major waste generators, play a vital role in promoting city-level circular economy models. To do so, it is important to promote activities and regulations to raise worker awareness about proper waste separation, integrating these responsibilities into their job descriptions. Establishing efficient waste collection methods is crucial, necessitating logistical coordination and collaboration between municipalities and industries, especially challenging in countries lacking structured

waste management systems. Taxation can support waste management infrastructure and logistics, either through waste quantity-based fees or discounts for good waste separation practices among industries. Implementing this taxation at the municipal level ensures consistency. Replicating projects like SIRCLES can introduce circular practices for various waste streams and materials, achieved through stakeholder partnerships, including industries, municipalities, and waste management organizations. Moreover, by the integration of circular economy principles in industry operations optimizes resources and reduces waste by adopting sustainable practices like using recycled materials and closed-loop systems. Industries can also partner with research institutions and innovation centres to develop and implement circularity-promoting technologies and processes, fostering innovative waste management and resource recovery solutions. Active industry participation and engagement in circular economy initiatives, including sharing best practices, reporting on waste management efforts, and seeking collaboration and partnerships, are essential.

In terms of academia and educational institutions, it's important to recognize that different levels of schools have varying roles in promoting sustainability and waste management practices. Starting at the primary school level, there's a crucial opportunity to work with children and introduce thematic subjects on sustainability, ecological practices, and waste separation. By instilling these values at a young age, children can develop a lifelong commitment to environmental stewardship. For example demonstration composters should be placed in schools to teach students about the organic waste cycle. Moving beyond primary schools, agronomic schools and technical schools also have an essential role to play. These institutions can focus on teaching sustainable agricultural practices and incorporating circular economy principles into their curriculum. Effective communication about the environment and sustainability is vital. It's important to train journalists who can effectively communicate these topics to make them accessible for all. By raising awareness and providing accurate information, journalists can significantly contribute to promoting environmental consciousness and circular economy practices. At the university level, sustainability should be integrated into various academic programs. This integration can be achieved by incorporating sustainability-related courses and projects into the curriculum. Universities should also establish linkages and collaboration with industries and local authorities to develop innovative solutions for waste management and circularity. Furthermore, academia should actively engage in research and innovation to advance waste management practices and promote circularity. This can involve conducting studies, developing new technologies, and collaborating with industries and local authorities to implement sustainable solutions.

4 Conclusions

This paper, starting from main challenges and lessons learned within the SIRCLES - ENI CBC MED funded project, reports valuable policy recommendations for local authorities in the context of biowaste collection and composting. To summarise the main recommendations to be followed by local authorities to replicate a circular economy model similar to SIRCLES' one:

- Community awareness: Prioritizing biowaste awareness and education is crucial. Local authorities should educate residents about the importance of biowaste separation and its potential as a resource for composting.
- Supply chain understanding: Effective biowaste practices require a deep understanding of the supply chain and local context. This involves mapping biowaste sources, identifying composting facilities, assessing local infrastructure, and resource availability.
- Promoting recycled products: Encourage the use of compost derived from biowaste, particularly in agriculture, by highlighting its benefits. This can reduce reliance on chemical fertilizers and enhance soil health.
- Incentives: Consider implementing incentive systems such as tax reductions or financial benefits to motivate businesses and individuals to engage in biowaste management and composting.

By following these recommendations, local authorities can create an enabling environment for biowaste collection and composting, contributing to waste reduction and the development of a circular economy. Active citizen participation and industry involvement are key components of this circular economy model, which can be further reinforced through sustainability education and collaboration among academia, industries, and local authorities. This holistic approach paves the way for a more sustainable and resource-efficient urban future.

Acknowledgements

We would like to show our gratitude to all partners of SIRCLES project for their collaboration.

References

- BORSACCHI, L., PINELLI P., (2018). Circular economy and industrial symbiosis: The role of the municipality of Prato within the EU Urban Agenda partnership. In: Proceedings of the 24th International Sustainable Development Research Society Conference. Actions for a sustainable world: from theory to practice.. p. 716-722, The Organizing Committee of the ISDRS Conference, ISBN: 978-88-943228-6-6, Messina (Italy), 13-15 June 2018.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (no date) Circular economy introduction. Available at: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview> (accessed on 01/10/2023).
- EUROPEAN CIRCULAR CITIES DECLARATION (2020). Available at: https://circularcitiesdeclaration.eu/fileadmin/user_upload/Images/Pages_Images/Circular_City_Declaration/Circular-Cities-Declaration-Template_new_logos.pdf.
- EUROPEAN PARLIAMENT (2022) Circular economy: definition, importance and benefits.
- FÜLEKY, G., BENEDEK, S., (2009), *Composting to Recycle Biowaste*. Journal of Sociology, Organica Farming, Climate Change and Soil Science, pp. 319-346.
- SHAHJADI, H.F., PARVEZ, M.A., NAZMUL, H., (2021). *Life Cycle Assessment for Sustainable Mining*.
- LOHRI, C.R., DIENER, S., ZABAleta, I., MERTENAT, A., & ZURBRÜGG, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. In *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* (Vol. 16, Issue 1, pp. 81-130).
- SIRCLES' PROJECT (2022). *Institutional mapping and target group analysis in partnering countries, Toolkit*.
- SPRINGER NETHERLANDS. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9422-5> (accessed on 01/10/2023)
- MISHRA, B., MOHANTA, Y.K., REDDY, C.N., REDDY, S.D.M., MANDAL, S.K., YADAVALLI, R., & SARMA, H. (2023). Valorization of agro-industrial biowaste to biomaterials: An innovative circular bioeconomy approach. *Circular Economy*, 2(3), 100050. <https://doi.org/10.1016/j.cec.2023.100050>.

Innovazione e automazione dei processi di vendita dei prodotti alimentari della GDO

Carlo Amendola

Sapienza Università di Roma

Simone La Bella

Università degli Studi G. Marconi

Alessandro Gennaro

Università degli Studi G. Marconi

Francesco Crenca

Sapienza Università di Roma

ABSTRACT

Da sempre la tecnologia assume un ruolo importante nella nostra vita quotidiana, ciò ha portato ad un cambiamento del paradigma tecnologico. L'automazione è oggi parte integrante di una serie di processi che vanno dalle attività di produzione alla logistica e dalle attività di rifornimento alle attività di vendita.

Questa trasformazione ha permesso di ottenere benefici positivi sia in merito alle ridotte tempistiche di trasformazione e commercializzazione del prodotto, di riduzione della forza lavoro e sia di miglioramento della protezione ambientale in termini di riduzione dello spreco di risorse. In un mondo sempre più globalizzato e competitivo, la crescente domanda di prodotti e servizi innovativi da parte dei consumatori spinge le aziende a ricercare nuove soluzioni tecnologiche per competere e crescere. Anche nel contesto della GDO l'automazione assume un ruolo più importante che mai. Alcuni esempi sono rappresentati dalle casse automatiche, elemento chiave di un risparmio in termini sia di tempi per il cliente, sia in termini economici per l'azienda che non dovrà sostenere le spese per il costo del personale. Un altro esempio sono i frontalini elettronici dove vi è un maggior vantaggio per il cliente ovvero avere un margine maggiore di non visualizzare un prezzo errato del prodotto che si sta acquistando.

Partendo da tali considerazioni la nostra analisi si focalizza sull'automazione e sull'innovazione percepita dalle imprese del settore, e per comprendere l'impatto dell'importanza dell'innovazione ed in particolare dell'automazione nei punti vendita è stata condotta un'indagine sul campo sulle principali aziende italiane della GDO al fine di comprendere quanto sia importante e vantaggiosa l'automazione nel settore della GDO.

KEYWORDS: Innovazione, automazione, GDO, Casse automatizzate, prodotti alimentari.

1 Introduzione

In un mondo sempre più globalizzato e competitivo, la crescente domanda di prodotti e servizi innovativi da parte dei consumatori spinge le aziende a ricercare nuove soluzioni tecnologiche per competere e crescere. Tradizionalmente, il valore di un'azienda era determinato da persone, idee, risorse fisiche e finanziarie. Queste risorse tradizionali sono oggi potenziate da complesse tecnologie digitali che, se adottate e implementate correttamente, possono aprire nuovi regni cognitivi, fornire nuove prospettive e dunque spingere ai confini di ciò che è possibile (Panza, 2013). Tuttavia, per raccogliere veramente i vantaggi delle tecnologie e non esserne travolti, bisogna comprendere che i processi di trasformazione spinti dall'innovazione, come la transizione al digitale, non sono facili; richiedono tempo, impegno, risorse e, soprattutto, apertura al cambiamento sia organizzativo che tecnologico (Gartner, 2021). Implementare su larga scala, vuol dire far muovere qualcosa da un livello ad un altro. In termini pratici, tutte le aziende possono implementare e sostenere con successo l'innovazione su larga scala. Ma per fare ciò, premesso che devono essere chiari gli obiettivi, in primo luogo è necessaria una strategia operativa per abbracciare la complessità dell'era digitale (Guenzi, 2021). In secondo luogo, un nuovo design organizzativo è indispensabile per supportare il processo di innovazione. Ciò vuol dire che le organizzazioni devono tutelare i bisogni primari di responsabilità e crescita e questo non può più essere fatto attraverso una tradizionale struttura organizzativa di tipo gerarchico/funzionale. Un'organizzazione è una rete e, naturalmente, è parte della creazione del valore per l'impresa (Fornari et al., 2019). Infine, bisogna essere disposti a sperimentare il nuovo. Il fatto che l'esperienza d'acquisto sia diventata sempre più digitale non significa che i punti vendita fisici siano destinati a scomparire (Costa et al., 2018: 73-84).

Al contrario, gli acquisti in negozio fanno ancora parte delle abitudini delle persone, soprattutto per quanto riguarda i generi alimentari (Coop, 2022). Tuttavia, non è possibile ignorare le aspettative dei clienti, sfruttando le tecnologie a disposizione per semplificare la shopping experience, ma anche per renderla sempre più personalizzata, unendo mondo fisico e digitale (Berman, Thelen, 2018: 598-614). Le opportunità per rispondere a questa esigenza sono diverse, ad esempio:

- digitalizzare i punti vendita,
- avere un sito web ben strutturato,
- attivare una comunicazione ad hoc attraverso tutti i possibili canali.

Anche se durante la pandemia gli acquisti online hanno avuto una forte crescita, non c'è dubbio che i negozi fisici rimarranno una leva strate-

gica fondamentale per i retailer (Blogmeter, 2020). È importante però continuare a sperimentare, accogliendo le novità del mercato e le tecnologie volte ad offrire una shopping experience unica, personalizzata e di valore (Cristini, 2020). Per far ciò sono state adottate diverse tecnologie nei punti vendita fisici come, per esempio, le casse automatiche. Quando si parla di soluzioni per il punto cassa, oggi, l'argomento più ricorrente riguarda il self checkout. Questo tipo di casse automatiche, che oramai troviamo in quasi tutti i punti vendita soprattutto appartenenti alla GDO, che si possono scegliere in alternativa alle casse tradizionali, rendendo i clienti partecipi della propria spesa, sebbene siano ampiamente diffuse in Europa, in Italia si stanno debellando pregiudizi e convinzioni errate in merito alle casse self service (Doxee, 2020).

Un altro esempio sono i frontalini elettronici; i frontalini elettronici sono sistemi dotati di un display che si installano sullo scaffale e comunicano informazioni sui prodotti esposti. Trattandosi di moduli digitali, modificabili da remoto tramite appositi ripetitori, permettono di superare i limiti dei supporti cartacei (Cristini, 2020).

Attraverso i frontalini elettronici per supermercati, ogni tipo di informazione può essere comunicata e aggiornata in tempo reale, così da semplificarne la consultazione da parte dei clienti sul:

- prezzo totale e prezzo al kg,
- sconti e promozioni,
- specifiche tecniche (nel caso di prodotti elettronici),
- allergeni (nel caso di prodotti alimentari),
- i punti fedeltà accumulabili con l'acquisto.

Oltre a offrire ai clienti le informazioni ricercate, le etichette elettroniche migliorano la gestione dei processi, delle scorte e del riassortimento della merce; dal momento che non è richiesto alcun intervento manuale da parte dell'operatore, si riducono le probabilità di comunicare prezzi, percentuali di scontistiche o altri dati errati (Cristini, 2020).

Il riordino automatico, è una piattaforma che permette di ottimizzare i flussi di sell-in e sell-out della merce presente sugli scaffali. Questo è possibile grazie allo sviluppo della piattaforma in stretta collaborazione con l'insegna stessa, che permette di esprimere al massimo tutto il know-how applicato alle vendite. Attraverso dei dati forniti dall'insegna stessa, il software è in grado di estrapolare informazioni su ogni singolo articolo presente all'interno del punto vendita (Baker, Halim, 2007: 129-138). I dati forniti riguardano l'andamento dello stock, del venduto e del back-order. La vera forza di uno strumento di questo tipo consiste nel fatto che, grazie all'analisi di questi dati, è possibile lanciare una proposta di "riordino automatico", necessaria per ripristinare le scorte minime di magazzino, a loro volta tarate in base a parametri concordati sia con l'insegna (Buyer) che con il marchio

cliente (Vendor). Altro servizio fondamentale fornito da una piattaforma di riordino automatico consiste nella possibilità di fornire al vendor, e quindi al brand cliente, i dati di sell-out dei propri articoli all'interno di un determinato punto vendita.

Un ultimo esempio è l'automazione nella logistica (Penco, 2017). I robot nella logistica comprendono qualsiasi sistema o macchina autonoma usata per automatizzare i flussi di merce, massimizzare la sicurezza e incrementare la produttività dei cicli operativi nel magazzino. L'ingresso di nuove tecnologie in uno qualsiasi dei cicli operativi del magazzino come, ad esempio, la ricezione della merce, lo stoccaggio, la gestione dello stock, la preparazione degli ordini e l'invio della merce, ha portato questi robot ad acquisire un ruolo da protagonisti (Kumar et al., 2020:1283-1289). Queste soluzioni operano in modo completamente autonomo svolgendo funzioni come la movimentazione dei prodotti tra due punti, la preparazione degli ordini o lo stoccaggio dei prodotti sulle scaffalature.

2 Metodologia

La presente ricerca nasce, quindi, dallo studio del dinamico e complesso scenario appena descritto sulla base della review della letteratura, sulla base delle seguenti domande poste dagli autori per ottenere una comprensione più profonda e basata su dati primari raccolti on field:

1. come viene misurato e valutato l'impatto dell'innovazione tecnologica nelle imprese italiane operanti nella GDO?
2. quali sono benefici/criticità derivanti dall'implementazione di tecnologie innovative anche in chiave di miglioramento dell'esperienza del cliente e della sostenibilità?

L'obiettivo della ricerca è quello di presentare una valutazione sulle percezioni delle imprese italiane operanti nella GDO riguardo gli impatti tecnologici sulla propria catena del valore e il grado di maturità raggiunto a seguito dei cambiamenti sopraggiunti.

Al fine di raccogliere i dati ed approfondire l'analisi, è stata condotta un'indagine su un campione di circa 100 imprese operanti nella GDO. Il questionario d'indagine, sviluppato dagli autori sulla base della letteratura di settore (Amendola, Savastano, 2022: 5-21), è stato somministrato dopo un iniziale pre-test tramite la piattaforma SurveyMonkey e la rilevazione è avvenuta nel periodo gennaio – giugno 2023.

Il questionario, composto da 12 domande a risposta multipla, è finalizzato a raccogliere informazioni specifiche: sul livello di consapevolezza dell'automazione e sull'importanza dell'innovazione tecnologica, sugli impatti generati, potenzialità e minacce, benefici e difficoltà incontrate nel-

l'implementazione dell'innovazione tecnologica (Amendola, Savastano, 2022: 5-21).

3 Discussione dei risultati

L'innovazione e l'automazione rappresentano un fenomeno di interesse non solo per le aziende di recente costituzione, ma anche per quelle di più antica fondazione. Le aziende si sono trovate obbligate a cambiare il proprio modello di business e adattarsi alla velocità della trasformazione tecnologica, in quanto conseguenza diretta del processo evolutivo dell'intera realtà aziendale, dalla produzione al consumo di beni e/o servizi (Largo Consumo, 2019). Per tale motivo, il nuovo paradigma richiede un bagaglio più articolato di competenze, dinamico e adatto alle nuove esigenze aziendali, e un continuo aggiornamento di strategie aziendali e competenze, poiché l'assenza di competenze hi-tech adeguate e del know-how possono risultare elementi di debolezza per le aziende stesse (Teece, 2018: 40-49).

Il campione appare caratterizzato prevalentemente dalla categoria di aziende di piccole dimensioni con un numero di dipendenti tra 10-49 unità (38%) e un fatturato che oscilla tra i 500mila euro fino ai 2 milioni di euro e di medie dimensioni, con dipendenti tra 50-250 (27%) e un fatturato che oscilla tra 11-50 milioni di euro.

Seguono le grandi imprese con un numero di dipendenti maggiore di 250 unità (25%) e con un fatturato superiore ai 50 milioni euro; e infine le micro-imprese che hanno un numero minore di 10 dipendenti (10%) e un fatturato fino a 500mila euro (fig. 1).

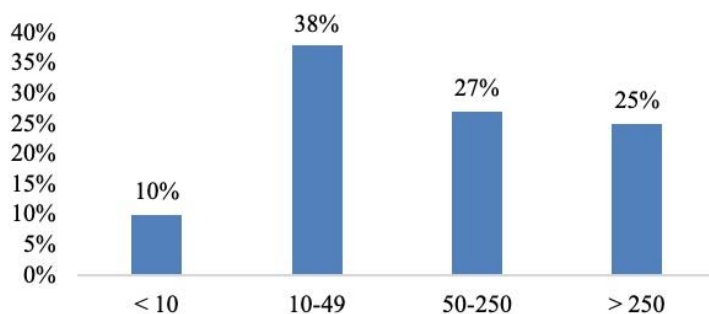


Figura 1 – Classi dimensionali delle imprese del campione

Fonte: n/s elaborazione

Alla domanda in cui si chiedeva ai rispondenti in quale misura l'in-

novazione tecnologica avesse avuto impatto sul settore di appartenenza, la totalità del campione (100%) ha riconosciuto la sua piena importanza sull'evoluzione della GDO (fig. 2).

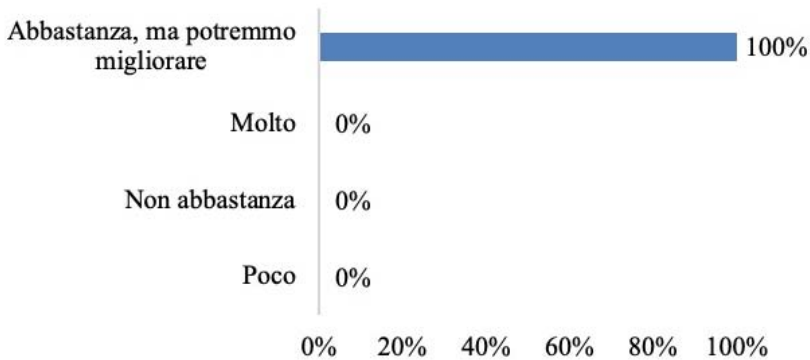


Figura 2 – Misura dell'impatto dell'automazione/innovazione tecnologia nel settore di appartenenza

Fonte: n/s elaborazione

Successivamente, è stato chiesto quali processi siano stati interessati dal processo di innovazione. Dalle risposte emerge che le aziende sono ben consapevoli dei cambiamenti derivanti dai processi di innovazione, ed esprimono un giudizio positivo sulla propria situazione, percependo di essere state in grado di comprendere e accettare le opportunità offerte dal nuovo paradigma.

Nel settore dei beni di largo consumo, il consolidamento delle nuove tecnologie, l'evoluzione della domanda di mercato e l'incremento della concorrenza, stanno indirizzando la moderna distribuzione verso una riorganizzazione dei processi operativi (Parviainen et al., 2017: 63-77). In ragione di ciò, l'area del Marketing risulta essere maggiormente innovata per il 66% del campione. Segue l'area vendite con il 56%, l'area logistica con il 48% e l'area ricerca per il mercato del lavoro con il 23% (fig. 3).

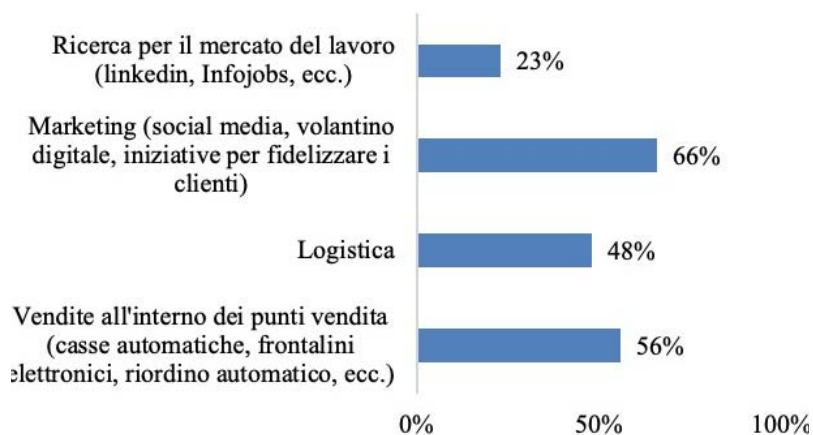


Figura 3 – Quali sono i processi che sono stati automatizzati per migliorare l'efficienza?

Fonte: n/s elaborazione

Volendo contestualizzare l'innovazione, e quindi gli investimenti in sviluppo di tecnologie e competenze, al fine di migliorare l'erogazione dei servizi e l'esperienza d'uso degli utenti, il processo di acquisto, nonché l'approvvigionamento nel suo complesso, è stato quindi chiesto ai rappresentanti delle organizzazioni coinvolte nell'indagine quale fosse il livello di investimenti in progetti ICT ed in chiave di innovazione e automazione da loro sostenuto negli ultimi tre anni (fig. 4, e fig. 5).

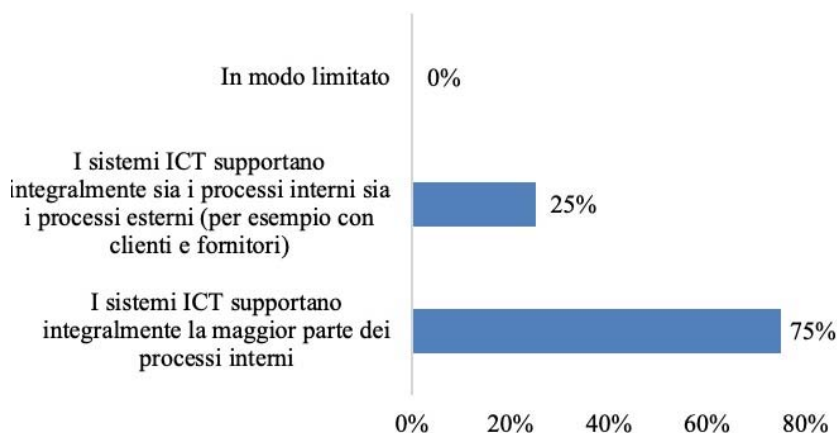


Figura 4 – L'azienda sviluppa e realizza progetti ICT?

Fonte: n/s elaborazione

Il 75% del campione ritiene importanti gli investimenti ICT in quanto supportano integralmente la maggior parte dei processi interni, mentre il 25% ritiene importanti gli investimenti ICT in quanto supportano integralmente sia i processi interni che esterni (fig. 4).

La figura 5 mostra, invece, che solo il 30% del campione assegna risorse interne adeguate ai piani di innovazione, mentre il 70 % del campione valuta anche l'opportunità di finanziamenti esterno, pubblico e di altri settori.

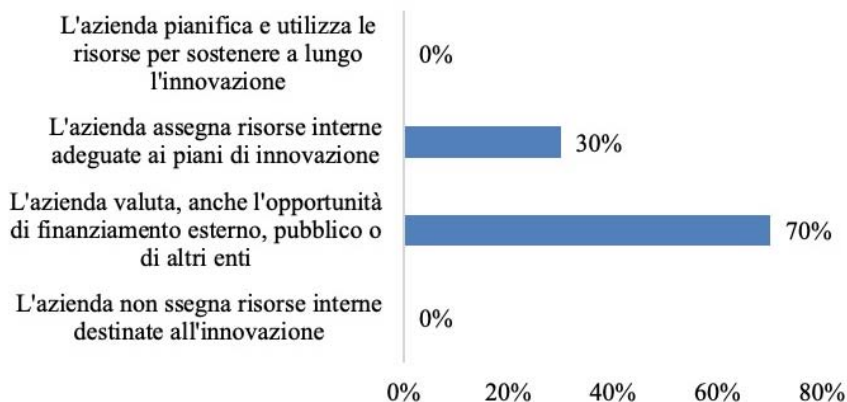


Figura 5 – L'azienda finanzia l'innovazione tecnologica?

Fonte: n/s elaborazione

Per completare l'analisi, è stato inoltre chiesto agli intervistati quale siano i nuovi progetti di investimento per l'implementazione di innovazione e automazione (fig. 6).

Il 64% del campione ha previsto di sostenere progetti in innovazione e automazione ma che si concretizzeranno nel lungo periodo. Mentre il 36% ha risposto di non aver programmato investimenti in nuove tecnologie.

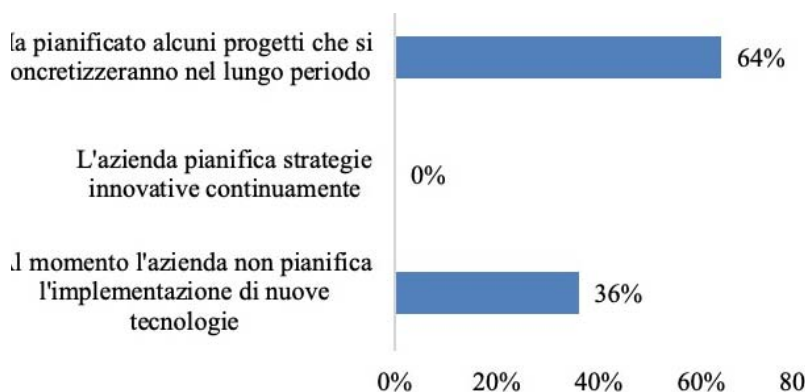


Figura 6 – L'azienda ha definito nuovi progetti per l'implementazione di innovazione e automazione?

Fonte: n/s elaborazione

Focalizzando l'attenzione sulle modalità e sugli strumenti utilizzati per implementare al proprio interno le innovazioni l'analisi della figura 7 ci permette di comprendere le strategie di collaborazione messe in atto dalle imprese per restare al passo con il cambiamento tecnologico e culturale in atto. Le collaborazioni esterne mirate alle innovazioni sono occasionali per il 65% del campione, mentre per il 35% solo in alcune aree/funzioni aziendali ci sono iniziative di collaborazione.



Figura 7 – L'azienda ricerca, instaura e gestisce collaborazione e partnership mirate all'innovazione?

Fonte: n/s elaborazione

Inoltre le iniziative per formare le risorse umane a supporto dell'innovazione sono decisamente modeste, solo il 15% del campione sviluppa piani di formazione delle risorse per fare fronte alle sfide della concorrenza, per il 62% la formazione non include iniziative a supporto dell'innovazione e per il 23% le iniziative sono occasionali (fig. 8).



Figura 8 – L'azienda adotta iniziative per formare le risorse umane a supporto dell'automazione/innovazione?

Fonte: n/s elaborazione

Il settore della vendita al dettaglio si è trasformato nel tempo, integrando l'innovazione IT per interagire meglio con i consumatori connessi di oggi e offrire esperienze altamente personalizzate e fluide in ogni canale di acquisto. Alla domanda di quanto l'innovazione sia importante per i comportamenti di acquisto dei consumatori, il 55% del campione ritiene che l'innovazione stia migliorando molto l'esperienza di acquisto dei clienti, il 35% abbastanza e il 15% ritiene che sia importante solo per alcuni target (fig. 9).

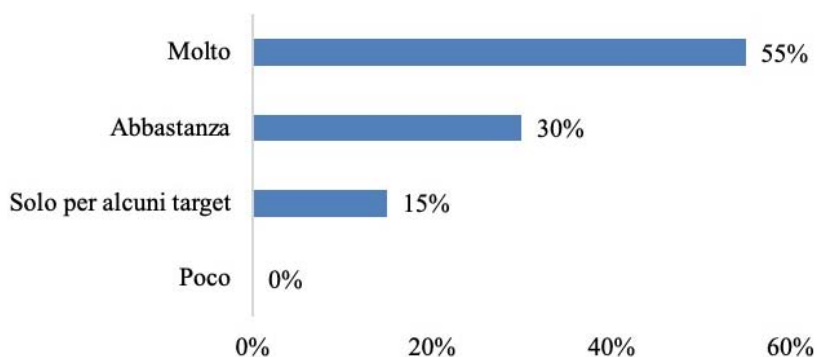


Figura 9 – L'automazione e l'innovazione stanno migliorando l'esperienza di acquisto per i clienti?

Fonte: n/s elaborazione

A seguito della diffusione delle nuove tecnologie nelle imprese della Grande Distribuzione Organizzata, si è voluto analizzare i potenziali benefici e le criticità riscontrate a seguito della loro implementazione (fig. 10). Tra i potenziali benefici troviamo: miglioramento di efficienza ed economicità (68%), seguiti da incremento del business e velocità nelle tempistiche con il 34%.

Il salto tecnologico cambia la società e le condizioni di lavoro; oltre ai potenziali benefici si riscontrano anche svantaggi (fig. 11).

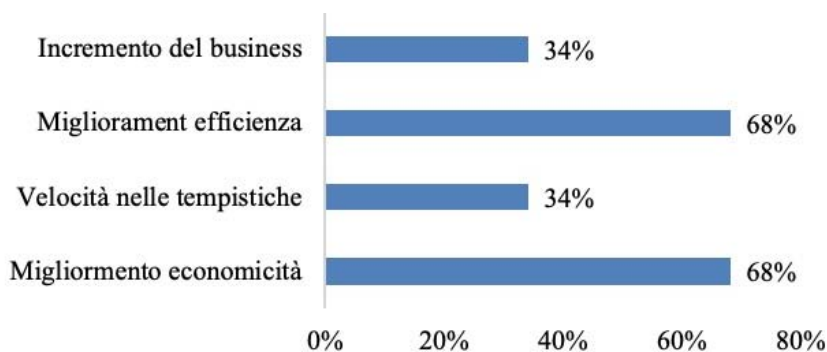


Figura 10 – Quali sono i vantaggi che avete ottenuto dall'implementazione di tecnologie innovative?

Fonte: n/s elaborazione

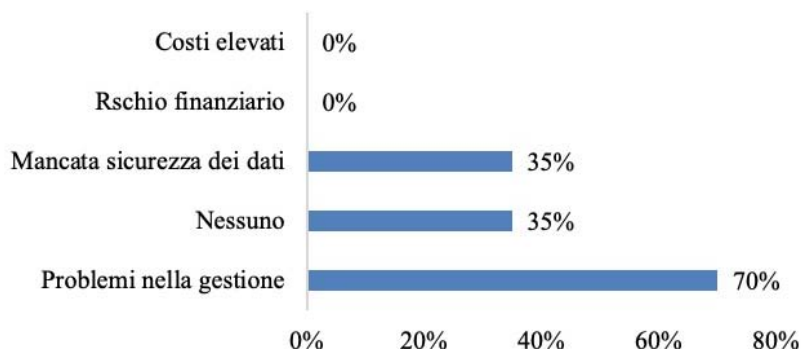


Figura 11 – Quali sono gli svantaggi che avete ottenuto dall'implementazione di tecnologie innovative?

Fonte: n/s elaborazione

Il 70 % del campione riscontra difficoltà nella gestione, in particolare nel trovare figure professionali che abbiano un bagaglio di competenze adatto alle nuove esigenze. L'ostacolo maggiore risulta essere la carenza di risorse umane preparate a livello operativo) e le difficoltà nel reperimento di risorse umane altamente qualificate.

Inoltre, il 35% del campione lamenta una mancanza di sicurezza nella gestione dei dati.

Le aziende della GDO devono adottare approcci proattivi alla sicurezza cibernetica. Dalla crittografia avanzata alla protezione dei dati dei clienti, è fondamentale mettere in atto soluzioni di difesa robuste. Inoltre, con la crescente consapevolezza sulla privacy e la normativa GDPR, la protezione dei dati diventa prioritaria.

Sempre più il settore distributivo evidenzia un concreto impegno allo sviluppo ambientale, sociale ed economico del Paese. Dall'analisi dei risultati in figura 12 emergono risultati interessanti.

Il 38% del campione promuove iniziative per la salvaguardia ambientale, il 30% delle aziende considera il valore della sostenibilità un driver per la competitività, il 38% sta adottando, infine, buone pratiche sostenibili che consentono di raggiungere significativi risultati ambientali in favore della collettività (qualità dei prodotti e sicurezza dei clienti).



Figura 12 – L'azienda è attenta alle tematiche ambientali?

Fonte: n/s elaborazione

4 Conclusioni

Attualmente le aziende sono sempre più proiettate a rendere il proprio sistema più innovativo, sostenibile e cercano di migliorare l'esperienza dei consumatori finali attraverso processi di automazione che è possibile riscontrare sempre più nei punti vendita (Pinto et al., 2017: 190-209).

Dall'altro lato però c'è ancora un blocco culturale che non spinge le imprese italiane a ritenere la ricerca, lo sviluppo, l'innovazione in genere, un fattore critico di successo. Sono, inoltre, poche le aziende del campione considerato in cui è presente una funzione ricerca e sviluppo, e ad avere una figura che si occupi esclusivamente di R&S.

In altre aziende questa funzione è di competenza di altre funzioni aziendali che però non hanno competenza in materia. Possiamo comunque affermare che le aziende cercano di modernizzare e innovare la propria organizzazione ma sono consapevoli di poter fare di più (De Ceglia, Frojo, 2020: 4-5).

Dall'analisi, infatti, emerge la crescente consapevolezza che le aziende hanno dell'innovazione/automazione e dei potenziali benefici derivanti da questo paradigma. L'innovazione oltre ad offrire innumerevoli opportunità alle imprese, porta con sé anche diverse criticità da dover affrontare, in quanto spesso le organizzazioni intraprendono progetti innovativi guidati dallo sviluppo di nuove tecnologie, ma non hanno ancora chiare strategie e azioni da implementare al proprio interno al fine di sfrut-

tare al meglio, a livello commerciale, gli investimenti effettuati (Savastano et al., 2018: 127-142).

In un prossimo futuro vedremo diffondersi sempre più strumenti come il checkout veloce, il self retail e una maggiore dose di interattività, servizi destinati a cambiare fortemente l'infrastruttura tecnologica del negozio e l'esperienza dell'utente (Jocevki et al., 2019: 78-93).

In definitiva, i risultati del presente studio mettono in evidenza come il processo di innovazione e automazione sia parte integrante di una serie di processi che vanno dalle attività di produzione alla logistica e dalle attività di rifornimento alle attività di vendita. Tuttavia, occorre evidenziare due limitazioni all'analisi: la prima è rappresentata dal ristretto numero di imprese che hanno risposto al questionario; la seconda è che i risultati dello studio, sono limitati al solo mercato italiano della GDO e quindi non generalizzabili al contesto internazionale.

Purtuttavia, possono rappresentare un'interessante base di partenza per analisi più approfondite e confronti con il processo di trasformazione avvenuto anche in altri Paesi, nella determinazione del maggior valore apportato in termini di maggior efficacia ed efficienza per imprese.

References

- AMENDOLA C., SAVASTANO M. (2022). Trasformazione digitale e industria 4.0: analisi empirica sull'evoluzione delle imprese della GDO. *Industrie Alimentari*, anno 61, n. 633, aprile 2022, 5-21, Chiriotti editore – Pinerolo, ISSN: 0019-901X.
- BAKER, P., ALIM, Z. (2007). An exploration of warehouse automation implementations: cost, service and flexibility issues. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12 (2), 129-138. DOI 10.1108/13598540710737316.
- BERMAN, B., THELEN, S. (2018). Planning and implementing an effective omnichannel marketing program. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 46 (7), 598-614. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-08-2016-0131>.
- BLOGMETER (2020). Come le aziende hanno modificato la loro comunicazione sui social ai tempi di Coronavirus. Disponibile su <https://www.blogmeter.it/it/blog/comunicazione-social-e-coronavirus> [data di accesso 12/05/2020].
- COOP (2022). Rapporto Coop 2022. Consumi e stili di vita degli italiani di oggi e di domani. Report Coop, Milano.
- COSTA E. SILVA, S., CARVALHO MARTINS, C., MARTINS DE SOUSA, J. (2018) Omnichannel approach: Factors affecting consumer acceptance. *Journal of Marketing Channels*, 25(1/2) 73-84. <https://doi.org/10.1080/1046669X.2019.1647910>.
- CRISTINI, G. (2020). Retailing al futuro. La creazione di valore nella distribuzione moderna. Egea Editore, Milano.
- DE CEGLIA, V.E., FROJO, M. (2020). L'Italia in coda al supermercato il boom della grande distribuzione. *La Repubblica, Affari&Finanza*, (12) anno 35, 4-5.
- DOXEE (2020). La Grande Distribuzione Organizzata: crisi, opportunità e sfide di un settore chiave. Report Doxee.
- DOXEE, DI RIGHINI, E. (2020). Strategie di marketing della GDO: un nuovo approccio per un business competitivo. In <https://www.doxee.com/it/blog/digital-marketing/strategie-di-marketing-della-gdo/> [27 luglio 2020].
- FORNARI, D., GRANDI, S., FORNARI, E. (2019). Retailvision: Gli scenari del marketing distributivo. Egea Editore.
- GARTNER (2021). Top Trends in Retail Digital Transformation and Innovation 2021. Report Gartner.
- KUMAR, M.S., RAUT, R.D., NARWANE, V.S., & NARKHEDE, B.E. (2020). Applications of industry 4.0 to overcome the COVID-19 operational challenges. *Diabetes & Metabolic Syndrome*, 14(5), 1283-1289.

- GUENZI, P. (2021). *La trasformazione digitale delle vendite. Innovare strategie e processi commerciali con le tecnologie*. Egea, Milano.
- JOCEVKI, M., ARVIDSSON, N., MIRAGLIOTTA, G., GHEZZI, A., MANGIARACINA, R. (2019). Transitions towards omni-channel retailing strategies: a business model perspective. *International Journal of Retailing & Distribution Management*, 47 (2), 78-93. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-08-2018-0176>.
- LARGO CONSUMO (2019). *Osservatorio Imprenditoria Retail – Il profilo dell'imprenditore nel franchising e nella distribuzione organizzata*. Osservatorio Imprenditoria Retail edizione 2019, Milano.
- PANZA, R. (2013). *Manuale di progettazione per la grande distribuzione. Strategie immagine e format per nuovi consumatori*. Manuale Vol. 233, Franco Angeli Edizioni.
- PARVIAINEN, P., KÄÄRIÄINEN, J., TIHINEN, M., TEPPOLA, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: How to benefit from digitalization in practice. *International Journal of Information Systems and Project Management* 5(5 1), 63-77. DOI:10.12821/ijispm050104.
- PENCO, L. (2017). *Retail logistics e vantaggio competitivo delle imprese della grande distribuzione organizzata*. Giappichelli Editore, Torino.
- PINTO, L., DELL'ERA, C., VERGANTI, R., BELLINI, E. (2017). Innovation strategies in retail services: solutions, experiences and meanings. *European Journal of Innovation Management*. Vol. 20 No. 2, 190-209. <https://doi.org/10.1108/EJIM-06-2015-0049>.
- SAVASTANO, M., AMENDOLA, C., & D'ASCENZO, F. (2018). How digital transformation is reshaping the manufacturing industry value chain: the new digital manufacturing ecosystem applied to a case study from the food industry. In *Network, Smart and Open*, 127-142. Springer, Cham.
- TEECE, D.J. (2018). Business models and dynamic capabilities. *Long range planning*, 51(1), 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2017.06.007>.

Innovazione, sinergia e circolarità nel settore agro-forestale: il Progetto PS-GO BIOACTAM

Gabriele Simone

Università degli Studi di Firenze

Margherita Campo

Università degli Studi di Firenze

Chiara Cassiani

Università degli Studi di Firenze

Francesca Ieri

Università degli Studi di Firenze

Nadia Mulinacci

Università degli Studi di Firenze

Silvia Urciuoli

Università degli Studi di Firenze

Rodolfo Picchio

Università degli studi della Toscana

Rachele Venanzi

Università degli studi della Toscana

Lorenzo Moncini

Centro Ricerche Strumenti Biotecnici nel settore Agricolo-forestale

ABSTRACT

Il progetto BIOACTAM (Biochar: innovazioni ottenute attraverso carbonizzazioni testate in Amiata e Maremma), finanziato dalla Regione Toscana nell'ambito dei Piani Strategici dei Gruppi Operativi del PSR 2014-2020, è volto all'applicazione di modelli innovativi di economia circolare nelle filiere agro-alimentari mediante lo sviluppo di processi e prodotti, basati sull'estrazione di principi bioattivi naturali e sulla produzione di biochar, da biomasse lignocellulosiche del settore agricolo e forestale. Le attività, svolte principalmente nell'ambito della filiera olivicolo-olearia da un partenariato di enti di ricerca e imprese di settori diversi, dall'agricolo-forestale al cosmetico, hanno permesso di ottimizzare un processo sostenibile semi-industriale di estrazione acquosa e concentrazione di principi bioattivi da foglie e potature di olivo per applicazione in diversi settori merceologici; a partire dalla stessa matrice è stata inoltre ottimizzata e standardizzata una tecnologia innovativa per la produzione di biochar che ha previsto la realizzazione e messa in opera di uno specifico prototipo di forno a pirolisi diretta lenta. Il biochar e gli estratti naturali sono stati caratterizzati per proprietà chimico-fisiche, contenuto di composti bioattivi ed attività antimicrobica e antiossidante. Sono stati quindi sperimentati per la realizzazione di prodotti cosmetici naturali e nel settore agronomico su colture di olivo e solanacee, mostrando interessanti effetti come ammendanti e consentendo la parziale sostituzione

della torba, risorsa non rinnovabile, nella composizione di terricci. L'applicazione dell'innovazione proposta potrà apportare vantaggi in termini di sostenibilità ambientale ed economica, nuove sinergie nella realtà rurale locale mirate al recupero dei residui lignocellulosici, un incremento della fertilità dei suoli e della diversificazione e qualificazione delle produzioni aziendali.

PAROLE CHIAVE: Economia circolare, biochar, polifenoli, cosmetici naturali, agricoltura green, estratti naturali

1 Introduzione

Lo sviluppo di tecnologie nuove e innovative ha permesso, in tempi recenti, il recupero di attività agroforestali un tempo diffuse e remunerative, ma progressivamente abbandonate a causa delle trasformazioni socio-economiche e delle difficoltà nello sfruttamento delle risorse, in particolare per quanto riguarda territori facenti parte di aree montane o interne. L'approccio attuale per il superamento di tali criticità mira non più all'introduzione di politiche redistributive e assistenziali, ma all'individuazione di percorsi di sviluppo basati sulla gestione sostenibile del territorio rurale (approccio *place-based*, Barca 2009). La produzione di carbone vegetale sul Monte Amiata costituisce in questo senso un esempio di risorsa importante per il settore agro-forestale sul territorio, attualmente in fase di ripresa grazie allo sviluppo di nuove tecniche quali l'impiego di forni mobili orizzontali e verticali. In questo contesto, il progetto BIOACTAM (Biochar: innovazioni ottenute attraverso carbonizzazioni testate in Amiata e Maremma), finanziato dalla Regione Toscana nell'ambito dei Piani Strategici dei Gruppi Operativi del PSR 2014-2020, si è proposto di promuovere la valorizzazione di tale attività mediante lo sviluppo e l'applicazione di modelli sostenibili di economia circolare basati sulla produzione di biochar e sull'estrazione di principi bioattivi naturali da biomasse lignocellulosiche, in particolare per quanto riguarda il settore olivicolo-oleario, mirando ad aumentare la fertilità dei suoli, alla mitigazione dei cambiamenti climatici e ad un concreto sviluppo delle *green technologies*. L'obiettivo del progetto ha previsto la prototipazione e messa a punto di un forno mobile orizzontale sviluppato per una pirolisi lenta, alimentato con una centralina a biomasse legnose a funzionamento continuo e controllo da remoto, per la realizzazione di una nuova generazione di prodotti sostenibili derivanti dalla pirolisi parziale di foglie e potature di olivo, da applicare nei settori vivaistico, agricolo e cosmetico. Le foglie e le potature, ricche in principi naturali bioattivi termolabili, soggetti quindi a degradazione durante il processo di pirolisi, sono state preventivamente sottoposte ad un processo di estrazione acquosa specificamente progettato allo scopo di recuperare e sfrut-

tare tali composti, ottenendo quindi, in aggiunta al biochar, estratti sostenibili ricchi in principi attivi naturali come ulteriore prodotto. Il progetto ha previsto anche la caratterizzazione del biochar ottenuto classificandolo in base alle tipologie e caratteristiche delle matrici di origine e delle temperature di carbonizzazione. Sono inoltre stati analizzati e caratterizzati gli estratti acquosi per quanto riguarda il contenuto in composti bioattivi ad azione antiossidante ed antimicrobica, in particolare composti polifenolici e secoiridoidici caratteristici dell'olivo. Il biochar ottenuto è stato testato per valutarne le possibili applicazioni nei settori agronomico e cosmetico. Nel primo caso sono state approfondite le evidenze di letteratura circa l'azione di contrasto a fitopatogeni tellurici (Graber et al., 2014) o come ammendante in grado di stimolare la crescita vegetale (Glaser et al. 2002; Chan et al. 2007; Baronti et al. 2010; Graber et al. 2010; Vaughn et al. 2013), che dipende dalla tipologia di biomassa d'origine e della sua dose d'impiego. Proprio per contestualizzare l'azione agronomica al biochar del presente lavoro, questo è stato saggiato, da solo o in combinazione con gli estratti da olivo del progetto, *in vitro* per il contrasto ad alcuni fitopatogeni tellurici delle Solanaceae e, *in vivo*, nell'efficacia ammendante verso pomodoro da mensa coltivato in vaso. Nel settore cosmetico, il biochar e gli estratti naturali sono stati sperimentati sia tal quali che in combinazione per la realizzazione di prodotti cosmetici naturali in fase prototipale. Nell'ambito del progetto si è strutturata una possibile filiera mirata ad enfatizzare la sostenibilità della produzione di biochar su media scala in ottica di "circular economy" cercando di minimizzare le esternalità negative legate al processo di pirolisi e mirando a bilanci energetici e CO₂ prossimi alla neutralità su scala di sistema produttivo. Il progetto BIOACTAM ha previsto un partenariato costituito sia da enti di ricerca che da aziende operative in diversi settori, dall'agro-forestale al cosmetico, sul territorio del Monte Amiata e della Maremma. Questo ha permesso l'integrazione di attività di ricerca con aspetti applicativi, logistici e produttivi, nonché la sinergia di figure appartenenti a diversi settori, ad ulteriore consolidamento dell'economia locale. L'applicazione dell'innovazione proposta potrà quindi apportare vantaggi in termini di sostenibilità ambientale ed economica, nuove sinergie nella realtà rurale locale mirate al recupero dei residui lignocellulosici, un incremento della fertilità dei suoli e della diversificazione e qualificazione delle produzioni aziendali.

2 Metodologia

2.1 Prototipazione forno e analisi di caratterizzazione del biochar

La pirolisi della biomassa è comunemente considerata un processo di conversione termochimica (Panwar et al., 2012; Picchio et al., 2020,

2023). Le caratteristiche fisico-chimiche del biochar sono determinate dal tipo di materia prima e dalla temperatura di pirolisi: in questo specifico caso le prove di pirolisi sono state eseguite ad una temperatura massima di 450 °C per ciascun campione. È stato utilizzato un moderno forno di carbonizzazione orizzontale (Picchio et al., 2023), costituito da una struttura metallica posta su piedi telescopici. È presente un vano per caricare la biomassa legnosa e una piccola apertura per il mantenimento del fuoco con bruciatore automatico a cippato e camino posteriore. La produzione di biochar (max 4 m³ per ciascun processo) da diversi tipi di biomassa è stata eseguita secondo la seguente procedura e sequenza senza interruzioni che compongono un ciclo di carbonizzazione: (i) fase di essiccazione: 3 ore da 30 °C a 150 °C, (ii) prima fase di carbonizzazione: 90 min da 120 °C a 200 °C, (iii) seconda fase di carbonizzazione: 90 min da 200 °C a 250 °C, (iv) terza fase di carbonizzazione: 120 min da 250 °C a 450 °C, (v) fase finale di carbonizzazione: 12 h da 450 °C a 50 °C (in questa fase viene interrotta l'immissione di energia termica nel processo e tutti gli accessi all'aria vengono bloccati, quindi inizia la lenta diminuzione della temperatura che in circa 12 ore passa da 450°C a circa 50°C). Il biochar prodotto è stato prima valutato visivamente e poi sottoposto ad analisi fisico-chimiche. La biomassa legnosa è stata ottenuta dalla lavorazione dei residui di potatura di olivo (*Olea europaea* L.) ottenuto dalla potatura di alberi gestiti in sistema biologico e allevati lungo le pendici del monte Amiata e la Maremma Grossetana. Il biochar è stato ottenuto mediante 3 cicli (processi di carbonizzazione) e sono state utilizzate quattro repliche per ciascun ciclo e ciascun parametro. Il potere calorifico è stato determinato secondo la norma EN ISO 18125 [EN ISO 18125: 2018. Biocombustibili solidi – Determinazione del potere calorifico]. La granulometria del biochar ottenuto è stata eseguita utilizzando i sistemi di riferimento per il cippato P16 secondo la norma ISO 17225-4. Il potere calorifico superiore (HHV) è stato determinato utilizzando il calorimetro Anton Paar 6400 isoperibol (USA). La densità apparente è stata valutata in conformità alla norma EN ISO 17828 [EN ISO 17828: 2016]. Il contenuto di umidità è stato determinato secondo la norma EN ISO 18134-1 [EN ISO 18134-1: 2015], utilizzando un forno di essiccazione Memmert UFP800 (Germania). Il valore del pH è stato misurato mediante analisi potenziometrica mediante pHmetro S500 Mettler-Toledo (USA), utilizzando sospensioni di biomassa/soluzione salina (biomassa-KCl 1 M) in proporzione 1: 2,5. La misurazione della sostanza organica è stata effettuata mediante incenerimento in muffola Nabertherm L3/11 (Germania) a 400°C per 4 ore dopo l'eliminazione completa dell'acqua e un pretrattamento a 160°C per 6 ore. Utilizzando il metodo diretto con il fattore di conversione di Van Bemmelen (1,724) è stata valutata la quantità di carbonio organico.

Per valutare il contenuto di carbonio inorganico, la misurazione è stata effettuata mediante incenerimento in muffola a 1000°C per 2 ore. Il carbonio inorganico è stato ottenuto osservando la perdita di peso tra 400°C e 1000°C e moltiplicandola per una costante di conversione di 0,273 per convertire la massa di CO₂ nella massa di carbonio. La caratterizzazione del biochar in termini di contenuti di C, H e N è stata effettuata in conformità con lo standard EN-15104. Il contenuto di Cl è stato determinato secondo la norma EN 15289. Per la determinazione del contenuto degli elementi maggiori e minori che formano ceneri (escluso Cl), una digestione pressurizzata in più fasi con HNO₃ (65%)/HF (40%)/H₃BO₃ seguita da misurazione mediante spettroscopia di emissione ottica-plasma accoppiato induttivamente (ICP-OES) o la spettroscopia plasma-massa accoppiata induttivamente (ICP-MS) è stata applicata mediante lo spettrometro Agilent 5800 ICP-OES (USA), a seconda dei limiti di rilevamento richiesti.

2.2 Estrazione e caratterizzazione chimica dei composti bioattivi

L'estrazione è stata effettuata in estrattore solido-liquido Naviglio[®], descritto in dettaglio in Naviglio, 2003. L'estrazione è stata condotta in acqua a 45°C sul materiale precedentemente essiccato, per una durata di 2.5h. Il rapporto materia prima/acqua è del 3.8% p/V. Le analisi HPLC-DAD-MS sono state effettuate utilizzando un cromatografo liquido HP-1260 munito di un rivelatore DAD e uno spettrometro di massa HP 1100 MSD API-electrospray (Agilent Technologies) e colonne cromatografiche LiChrosorb RP18 4.6x250 mm, 5µm (Merck) e Luna C18 250x4.60 mm, 5 µm (Phenomenex) secondo le metodologie riportate precedentemente (Campo et al., 2016; Romani et al., 2020). Le analisi sono state eseguite in triplicato, con deviazioni standard inferiori al 5%.

2.3 Attività antimicrobica del biochar adsorbito *in vitro*

I test sono un riadattamento della tecnica del substrato avvelenato nella quale una sostanza da testare è incorporata nel substrato di coltura da inoculare con il fungo scelto. I diametri di colonia vengono misurati a fine del test e la percentuale di inibizione viene calcolata. Nel presente lavoro il materiale da testare non è stato un estratto liquido ma biochar solido, adsorbito con gli estratti. La procedura di preparazione del Potato Dextrose Agar (PDA), mantenimento dei patogeni, inoculazione, misurazione e analisi statistica, è riportata in Romani et al. (2021) con alcune modifiche. I patogeni testati sono stati: *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, *Pythium ultimum* e *Sclerotium rolfsii*, organismi noti per colpire anche le solanacee. Il biochar è stato imbibito con le varie sostanze testate (estratto in polvere di castagno: CAST; estratto di lentisco: LEN; estratto di foglie di olivo: OLIV; mix 1:1:1 dei tre estratti: MIX) portandolo a saturazione con gli estratti liquidi e lasciandolo asciugare al sole per 48h. Per la preparazione

del substrato in ogni piastra è stato aggiunto circa 20mL di biochar sterile misurato con un contenitore tarato, coperto successivamente da 20mL di PDA sterile, sufficiente a coprire il biochar. Un primo set di piastre è stato inoculato il giorno dopo la loro preparazione, mentre un secondo set è stato mantenuto a temperatura ambiente per 30 giorni prima dell'inoculo per stabilire se un eventuale rilascio dell'estratto avesse potuto migliorare le performance antimicrobiche nel tempo. È stato messo a punto anche un test per stabilire l'eventuale effetto antimicrobico degli estratti e dei semilavorati a base di biochar contro il batterio *Escherichia coli*, per applicazioni in campo cosmetico. I substrati sono stati preparati usando Mueller Hinton Agar (MH) come base, aggiungendo ad ogni tesi i vari estratti, correggendo il pH a 7.0 con KOH 1M e sterilizzandoli tramite autoclavatura. I substrati contenenti biochar sono stati preparati sospendendo in MH una quantità di biochar adsorbito pari al 5% p/v. I substrati sono così riassumibili: controllo (tesi CTRL, MH come da etichetta), trattati con solo gli estratti (tesi CAST, LEN, OLIV e MIX), controllo con biochar (MH con 5%p/v di biochar tal quale) e trattati con biochar (tesi B+CAST, B+LEN, B+OLIV, B+MIX, ovvero MH con i campioni di biochar adsorbito). Per ulteriori indagini sono stati preparati dei substrati contenenti solo MH a cui è stato aggiunto una quantità di estratto di castagno pari allo 0% (CTRL), 0.1%, 0,25% e 0.5% (tesi CAST0.1%, CAST0.25% e CAST0.5%). L'inoculo è stato ottenuto da una coltura liquida incubata a 37°C per 24h sottoposta ad opportune diluizioni con una soluzione fisiologica sterile fino ad ottenere una sospensione batterica 1:10.000 e 1:1.000.000. Le piastre sono state inoculate con 100µL di sospensione e incubate a 37°C per 24h, dopodichè è stata effettuata la conta delle unità formanti colonia (ufc). Per ogni valore di ufc è stata calcolata la percentuale di inibizione con la formula $[(Nc - Nt)/Nc] * 100$, dove Nc = numero ufc controllo e Nt = numero ufc trattato. Ogni valore di inibizione per tesi è il frutto della media di 3 repliche.

2.4 Attività biostimolante del biochar su pomodoro *in vivo*

È stato testato l'effetto biostimolante del biochar sullo sviluppo di pomodoro da mensa coltivato in vaso in serra. Allo scopo è stato allestito un test trapiantando in vasi (Ø22cm) piante di pomodoro (*Solanum lycopersicum* cv. Costoluto Fiorentino) a 35 giorni dalla semina. Sono state allestite 3 tesi: terriccio commerciale tal quale (CTRL), terriccio con 15% p/p di biochar (tesi B) e terriccio con 15% p/p di biochar adsorbito con MIX (tesi BA+). Le piante, 9 per tesi, sono state posizionate in maniera randomizzata in serra fredda, provvedendo a regolari annaffiature. Dopo 35 giorni di coltura sono stati quindi effettuati i primi rilievi, misurando l'altezza delle piante, il diametro al colletto e il numero di foglie per pianta. Dopo 60 giorni di coltivazione la prova è terminata e, oltre ai tre parametri precedenti, sono stati rilevati anche il peso secco della porzione aerea e delle

radici (previo lavaggio) dopo essiccazione in stufa a 100°C sino a peso costante. I dati raccolti, frutto della media di 9 repliche per ogni tesi, sono stati sottoposti ad analisi della varianza (ANOVA) tramite DSAASTAT. Le medie sono state separate usando il Tukey's range test e la significatività statistica è stata valutata a $p < 0.01$.

2.5 Valutazione dermatologica dei cosmetici naturali prototipati

La valutazione dermatologica di scrub e detergente è stata fatta mediante patch test con metodo standard MP 1299 rev4 2019. Il test consiste in un'applicazione standardizzata di prodotti in dose singola sulla pelle intatta che incrementa l'esposizione rispetto all'uso reale. L'obiettivo è valutare la compatibilità del prodotto con la pelle umana, definita come assenza di irritazioni cutanee conseguenti alla prima applicazione, ma non per definire il potenziale irritante intrinseco del materiale. Il test viene condotto su 20 volontari adulti ambosessi, selezionati dopo l'applicazione di specifici criteri di inclusione/non-inclusione. Il campione viene depositato in appositi dischi di carta filtro, aventi un diametro di 8 mm, area di 50 mm², ed un volume di circa 20 microlitri, di cui è provvisto il Van der Bend Patch Test Chamber. L'apparato viene applicato sulla cute del dorso del volontario. Il test è stato effettuato utilizzando i prodotti diluiti 1:10, per una durata di 24h. I rilievi sono stati effettuati a 30 minuti e al termine del test.

3 Discussione dei risultati

3.1 Rendimenti prototipo e caratterizzazione del biochar

Il prototipo realizzato ha fornito interessanti prestazioni su scala di cantiere ed ha evidenziato la piena sostenibilità del sistema di carbonizzazione diretta per pirolisi lenta. Il processo è stato gestito con una media di consumo di cippato di 70-80 kg ed un irrisorio apporto di energia elettrica (0,28 kWh). La resa in carbonizzazione è leggermente inferiore alla carbonizzazione del solo materiale legnoso, proprio per la presenza del fogliame nelle potature di olivo. La Tabella 1 riassume le caratteristiche del biochar derivato da materia prima di potature legnose comprensive di foglie derivate da oliveti gestiti in biologico attraverso una pirolisi lenta a una temperatura media di 450°C. I risultati del test ANOVA a effetti casuali applicato non hanno mostrato differenze tra i tre cicli di carbonizzazione analizzati. I valori di densità apparente erano simili a quelli riscontrati in altri studi (Yaashikaa et al., 2020) evidenziando delle buone proprietà con aspetti positivi legati all'aumento della porosità. Il contenuto di ceneri ha raggiunto valori positivi aumentando la formazione di strutture aromatiche che contribuiscono notevolmente al contenuto di carbonio fisso. In generale, valori più elevati di questi sarebbero indicativi di un tempo di permanenza del biochar più

lungo nel suolo. I valori di conducibilità elettrica sono medio-alti e sono il risultato di un aumento della quantità di ioni presenti attraverso l'aumento della frazione di ceneri (Askeland et al., 2019) e strettamente correlato alla temperatura di pirolisi. I risultati dell'analisi dei contaminanti riferiti ai metalli pesanti hanno evidenziato che i valori registrati erano inferiori al limite di quantificazione (<LQ) (2 mg/kg) in tutti i campioni. I sedici IPA USEPA misurati nello studio erano al di sotto del limite di rilevamento (0,5 mg/kg). I risultati del test ANOVA a effetti casuali applicato non hanno mostrato differenze tra i tre cicli di carbonizzazione analizzati.

Parametri	Media	SD	p-value
Resa di carbonizzazione	23%	3.2%	>0.05
Densità apparente kg/m ³	103.1	9.6	>0.05
Potere calorifico superiore MJ/kg	27.2	1.6	>0.05
H	1.20%	0.51%	>0.05
C	79.20%	9.11%	>0.05
N	0.68%	0.10%	>0.05
O	1.30%	0.59%	>0.05
Carbonio come CO ₂	2.65%	0.55%	>0.05
Carbonio (organico)	72.1%	10.2%	>0.05
Zolfo (totale)	0.04%	0.01%	>0.05
H/C	0.19	0.06	>0.05
O/C	0.012	0.002	>0.05
C/N	200.1	68.1	>0.05
Ceneri	13.50%	2.11%	>0.05
pH	8.77	1.0	>0.05
Superficie specifica m ² /g	271	15.2	>0.05
Sostanze volatili	3.9%	0.15%	>0.05
Conducibilità elettrica μS/cm	340	15.1	>0.05
Contenuto in sali g/kg	0.451	0.07	>0.05

Tabella 1 – Caratterizzazione del processo e del biochar prodotto, valori medi e SD: deviazione standard. Risultati ANOVA ad effetti randomizzati per i 3 processi di carbonizzazione.

3.2 Estrazione e caratterizzazione chimica dei composti bioattivi

I residui dell'olivicoltura derivanti dalla manutenzione degli oliveti, potature e soprattutto foglie, sono documentati nella letteratura scientifica per il loro contenuto in composti polifenolici e secoiridoidici dotati di attività biologiche, antiossidante ed antimicrobica in particolare, che li rendono interessanti candidati per la sostituzione parziale o totale di principi attivi di sintesi in numerosi settori merceologici (Romani et al., 2017; Olivares-Vicente et al., 2018; Selim et al., 2022). Tali composti sono instabili alle alte temperature e vanno incontro a fenomeni degradativi durante il processo di pirolisi. In un'ottica di economia circolare e secondo il concetto di bioraffineria, che prevede l'integrazione di processi mirati ad uno sfruttamento il più possibile completo delle materie prime seconde per ottenere nuovi prodotti, è stato previsto nell'ambito del progetto uno step di trattamento delle potature di olivo preliminare al processo di pirolisi, che consiste nell'estrazione dei composti attivi per ottenere estratti naturali da utilizzare in settori differenziati.

È stato quindi progettato e realizzato un processo sostenibile di estrazione acquosa, a temperatura controllata (45°C), i cui parametri sono stati selezionati e ottimizzati in laboratorio e successivamente trasferiti su scala semi-industriale estraendo il materiale vegetale precedentemente essiccato, fornito dalle aziende partner del progetto in seguito alle operazioni di potatura, in un estrattore in acciaio inox da 200 L. Gli estratti sono stati analizzati via HPLC-DAD-MS per il loro contenuto in composti polifenolici e secoiridoidici sia al fine di monitorare le rese estrattive in fase di messa a punto del processo, sia per caratterizzare l'estratto finale. In Tabella 2 sono riportati i risultati dell'analisi quali-quantitativa HPLC-DAD-MS dell'estratto semi-industriale:

Composto	mg/L
idrossitirosolo	18.9
verbascoside	37.2
flavonoidi	5.70
oleuropeina	137
Totale	199

Tabella 2 – Analisi quali-quantitativa HPLC-DAD-MS dei composti polifenolici e secoiridoidici nell'estratto di potature di olivo

In base alle analisi effettuate il processo estrattivo risulta esauriente; la ridotta concentrazione dei composti presenti è dovuta alla scarsa dispo-

nibilità, nei tempi del progetto, di materiale vegetale rispetto al volume estraente (rapporto p/V 3.8%).

Risulta confermata la presenza di composti polifenolici e secoiridoidici, in particolare di oleuropeina che costituisce circa il 70% in peso dei composti identificati e quantificati. Gli estratti sono stati quindi valutati per l'attività antiossidante ed antimicrobica e successivamente sperimentati per le possibili applicazioni nei settori agronomico e cosmetico. L'attività antiossidante è stata determinata *in vitro* mediante saggio spettrofotometrico con reattivo di Folin-Ciocalteu, che fornisce una valutazione del contenuto in fenoli e polifenoli totali correlato appunto con l'attività antiossidante del campione. Il risultato del saggio sull'estratto di foglie di olivo è di 480 mg/L GAE (Gallic Acid Equivalents).

Nell'ambito dei test per il settore agronomico sono state prese in considerazione ulteriori specie vegetali da sperimentare a confronto e in combinazione con l'estratto di olivo, in quanto in generale i prodotti naturali risultano maggiormente efficaci se basati su miscele di estratti contenenti sottoclassi diverse di composti attivi. Con la stessa metodica sono stati quindi ottenuti su scala semi-industriale un estratto acquoso di foglie di lentisco e uno da cippato di legno di castagno proveniente dalla gestione dei castagneti largamente diffusi in territorio amiatino. Si riportano di seguito i risultati della caratterizzazione quali-quantitativa HPLC-DAD-MS degli estratti:

Composto	mg/L
acido monogalloil chinico 1	226
acido gallico	127
acido monogalloil chinico 2	307
acido monogalloil chinico 3	314
acido monogalloil chinico 4	tracce
acido digalloil chinico 1	154
acido digalloil chinico 2	284
catechina	53.2
miricetina rutinoside	239
miricetina galattoside	74.0
miricetina glucoside	tracce
quercetina rutinoside (rutina)	35.6

miricetina ramnoside	475
quercetina galattoside	12.0
quercetina arabinoside	tracce
quercetina ramnoside	40.0
miricetina	72.1
quercetina derivati quant. come quercetina glucoside	82.0
Totale	2494

Tabella 3 – Analisi quali-quantitativa HPLC-DAD-MS dei composti polifenolici nell'estratto di foglie di lentisco

Composto	mg/L
vescalina	1770
castalina	899
pedunculagina I	614
monogalloil glucosio	531
acido gallico	4448
monogalloil glucosio II	tracce
roburina D	525
vescalagina	6215
C-glucoside tergalagico deidrato	344
castalagina	5302
digalloil glucosio	1638
O-galloil castalagina isomero	2787
trigalloil glucosio	2895
tetragalloil glucosio	915
acido ellagico	828
Totale	29711

Tabella 4 – Analisi quali-quantitativa HPLC-DAD-MS dei composti polifenolici nell'estratto di cippato di legno di castagno

Gli estratti di lentisco e di castagno sono stati successivamente concentrati in evaporatore industriale sotto vuoto fino a raggiungere concentrazioni in polifenoli totali rispettivamente di 23.4 e di 98.3 g/L.

3.3 Attività antimicrobica del biochar adsorbito *in vitro*

I trattamenti non sono stati sufficienti a causare l'inibizione di *Pythium ultimum*, rendendo così un'inibizione pari allo 0% in tutti i casi (dati non mostrati), anche se è possibile assistere ad una riduzione della densità del micelio, ma non del diametro di colonia.

Con *Fusarium oxysporum* il biochar adsorbito con il mix di estratti è stato il più efficace, con una media del 63.7% di inibizione, seguito dal solo biochar che ha inibito il 24.7% della crescita miceliare. I tre estratti singoli, CAST, LEN e OLIV, sono risultati invece inefficaci nel manifestare un effetto inibitorio. Con *Sclerotium rolfsii*, il biochar senza estratti ha inibito il 57.0% della crescita miceliare, mentre in tutti gli altri casi, quando addizionato con gli estratti, ha avuto performance migliori. E' stato quindi osservato il 75.6% di inibizione con CAST, 71.88% con LEN, 66.8% con OLIV e 81.88% con MIX.

I quattro estratti risultano sostanzialmente simili tra di loro dal punto di vista statistico, mentre sono diversi da CTRL in modo statisticamente significativo. La deviazione standard risulta comunque molto elevata per entrambi i patogeni, ciò suggerisce che il materiale testato non è ancora sufficientemente standardizzato e che piccole differenze di pezzatura e di uniformità del materiale possono manifestarsi con differenze nei risultati.

Nella prova ripetuta usando piastre preparate 30 giorni prima, in modo da stabilire se con il tempo gli estratti vengano desorbiti ed espletino un effetto a lunga durata, l'efficacia è stata mediamente più alta; tuttavia la maggiore inibizione rilevata anche nel controllo con solo il biochar tal quale, fa ipotizzare che l'effetto sia dovuto anche alla minore quantità di acqua disponibile. Nella Tabella 5 sono riportati i valori di inibizione dei due esperimenti.

Contro *Fusarium oxysporum* si osserva un miglioramento nella percentuale di inibizione con i tre estratti (CAST, LEN e OLIV), ma un peggioramento delle performance con il MIX. Nel caso dei tre estratti singoli è stata rilevata una differenza minima e trascurabile rispetto al controllo. Un miglioramento netto lo si osserva invece contro *Pythium ultimum*, eccetto per il controllo con biochar tal quale.

I risultati mostrano tuttavia un'ampia deviazione standard, che può essere imputata alla non standardizzazione del materiale di partenza. Miglioramenti trascurabili si osservano anche contro *Sclerotium rolfsii*, dove comunque l'inibizione osservata supera il 50% in tutti i casi.

		<i>F. oxysporum</i>	<i>P. ultimum</i>	<i>S. rolfsii</i>
CTRL+B	0gg	24.07	0.00	57.00
	30gg	9.49	0.00	62.99
CAST	0gg	0.00	0.00	75.63
	30gg	7.17	81.43	69.72
LEN	0gg	0.00	0.00	71.88
	30gg	7.66	53.28	77.03
OLIV	0gg	3.13	0.00	66.77
	30gg	10.52	55.12	73.75
MIX	0gg	63.7	0.00	81.88
	30gg	27.02	59.42	72.70

Tabella 5 – Comparazione delle percentuali di inibizione tra i due esperimenti

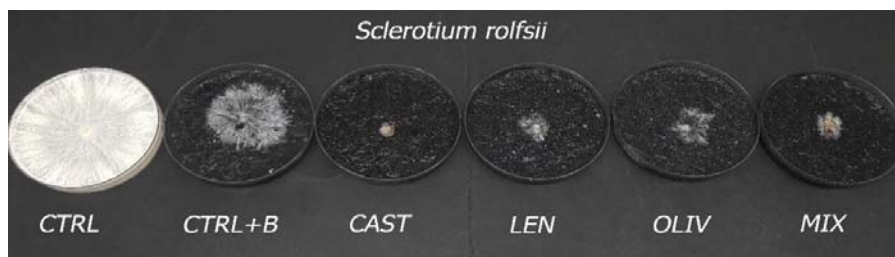


Figura 1 – Esempio dell'applicazione del test del substrato avvelenato su *Sclerotium rolfsii*

Il test per stabilire l'eventuale effetto antimicrobico degli estratti e dei semilavorati a base di biochar contro il batterio *Escherichia coli* è stato effettuato usando due diverse diluizioni della sospensione batterica originale, in modo da stabilire quale concentrazione sia la migliore ai fini della raccolta dati.

I risultati, in alcuni casi coerenti tra i due set di esperimenti, mentre in altri discordi e non comparabili, sono schematizzati nella Tabella 6, espressi come percentuale di inibizione rispetto al controllo CTRL (MH senza aggiunte).

	Diluizione 1:10.000	Diluizione 1:1.000.000
CAST	100 ± 0	100 ± 0
LEN	100 ± 0	100 ± 0
OLIV	-4.24 ± 25.17	5.48 ± 15.87
MIX	100 ± 0	100 ± 0
BIOCHAR	54.24 ± 14.38	7.23 ± 10.99
B + CAST	-3.39 ± 7.77	4.49 ± 4,76
B + LEN	25.42 ± 7.77	48.27 ± 20.42
B + OLIV	47.46 ± 19.25	3.78 ± 14.48
B + MIX	37.29 ± 11.74	12.48 ± 10.81

Tabella 6 – Comparazione delle percentuali di inibizione tra le due diluizioni

I risultati maggiormente analoghi tra di loro sono quelli ottenuti sui substrati senza biochar, caratterizzati da una tessitura uniforme e da una distribuzione omogenea del principio attivo nel reticolo del gel. In entrambi i casi l'inibizione è pari al 100% su estratto di castagno, lentisco e la miscela dei tre estratti, mentre l'estratto di olivo risulta inefficace.

Al contrario, i risultati ottenuti su biochar sono stati abbastanza discordi tra le ripetizioni. Il substrato è infatti meno omogeneo e la concentrazione degli estratti dipende da quanta sostanza viene desorbita dal biochar. Solo sul biochar adsorbito con estratto di castagno i risultati sono comparabili, mentre negli altri casi la differenza è più marcata, rendendoli quindi poco attendibili.

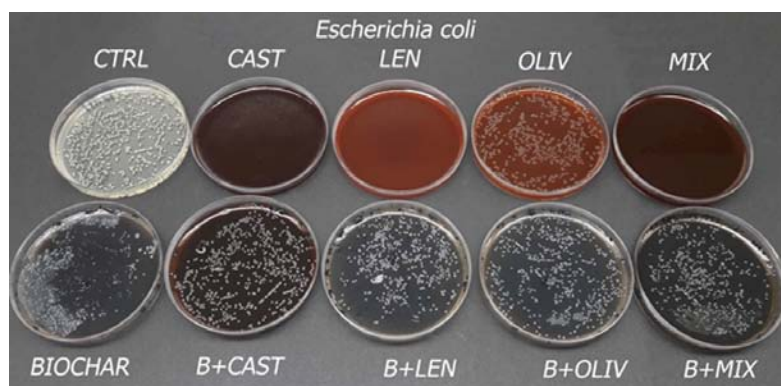


Figura 2 – Escherichia coli, diluizione 1:10.000

Per indagare in modo approfondito l'inefficacia dell'estratto di castagno, è stato effettuato un test analogo col solo tannino in concentrazioni inferiori (0.1%, 0.25% e 0.5%). I risultati dimostrano che l'estratto di castagno in tutte le dosi testate causa un'inibizione del 100% contro *Escherichia coli*, mentre il substrato contenente biochar adsorbito con lo stesso estratto risulta inefficace. Si conclude che la forte capacità di adsorbimento del biochar, almeno nel brevissimo termine, impedisce la cessione di una quantità di estratto sufficiente ad espletare una funzione antimicrobica.

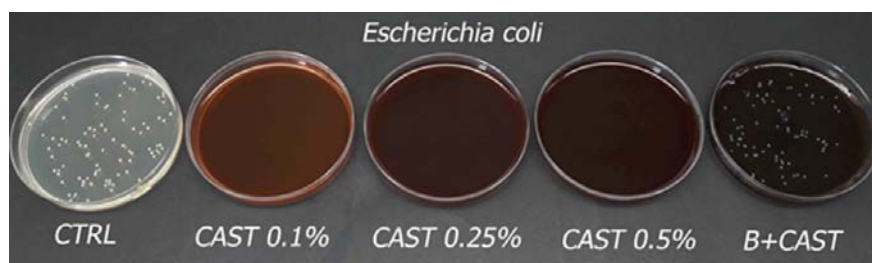


Figura 3 – *Escherichia coli*, diluizione 1:100.000, substrati con solo estratto di castagno comparato con lo stesso adsorbito su biochar

In definitiva, a differenza di quanto rilevato per i fitopatogeni, il test in ambito cosmetico ha messo in evidenza come il biochar arricchito con gli estratti naturali non garantisca un effetto antibatterico utile, probabilmente a causa del forte potere adsorbente del biochar stesso. Per contro i risultati ottenuti con gli estratti tal quali sono risultati incoraggianti e ne lascino ipotizzare un loro uso in cosmesi come antimicrobici.

3.4 Attività biostimolante del biochar su pomodoro *in vivo*

I primi rilievi non distruttivi effettuati dopo 35 giorni di coltivazione hanno messo in evidenza le prime differenze tra le tesi trattate ed il controllo. L'altezza media delle piante si è attestata a 35.1cm per il controllo, mentre per B e BA+ è stata rispettivamente di 43.0 e 41.7cm. Il diametro del colletto è risultato essere di 0.60, 0.75 e 0.71 cm, rispettivamente per la tesi CTRL, B e BA+. Infine, le foglie per ogni pianta, sono risultate mediamente pari a 12.6 nella tesi CTRL, 16.1 per la tesi B e 14.6 per la tesi BA+. A 60 giorni dall'allestimento è stata confermata una differenza di vigoria fra le tesi con e senza il biochar. L'altezza media delle piante è stata di 82.2cm per CTRL, 92.5cm per la tesi B e 95.5cm per la tesi BA+. In questo caso la tesi con il biochar adsorbito ha avuto migliori performance e la media è risultata diversa da quella del controllo in modo statisticamente significativo. Il diametro dei colletti è stato invece 0.70cm per CTRL,

0.86cm per B e 0.81cm per BA+. Anche il numero delle foglie è risultato differente, con una media di 24 foglie portate dalle piante della tesi controllo, 28.8 dalla tesi B e 30.0 dalla tesi BA+. Quanto ai test distruttivi inerenti il peso secco delle parti epigee ed ipogee della pianta dopo la loro essiccazione in stufa si è rilevato come il peso medio delle parti aeree, fusti e foglie, è stato per CTRL, B e BA+, rispettivamente 10.98g, 12.40g e 14.02g. Le radici a 60 giorni di coltura hanno mostrato una maggiore lunghezza nelle tesi con biochar e si presentavano più ramificate ed estese sul fondo del vaso. Il peso medio registrato è stato pari a 2.47g per CTRL, 2.91g per B e 3.06g per BA+ ma in questo caso, a causa probabilmente di una un'alta deviazione standard, nessuno dei valori è risultato significativamente diverso. Dai risultati del test di biostimolazione è emerso come il biochar, adsorbito o meno, abbia avuto un effetto biostimolante sullo sviluppo delle piante di pomodoro. Dal punto di vista statistico, i due trattati non hanno registrato differenze significative tra di loro, risultando quindi sostanzialmente simili. Rispetto al controllo, tuttavia, è stata quasi esclusivamente la tesi BA+ a differenziarsi in modo significativo dal controllo. L'effetto benefico dato in generale dal biochar è rappresentato dalla sua natura porosa, che permette di rendere il terreno più areato e di aumentarne la capacità di adsorbimento dell'acqua (Akhtar et al., 2014; Graber et al., 2010; Agbna et al., 2017). Le piccole differenze di crescita osservate sul biochar adsorbito con gli estratti naturali potrebbe imputarsi invece ad un effetto chelante di alcuni elementi nutritivi a seguito di un loro lento rilascio.

	CTRL	B	BA+
Altezza (35 giorni), cm	35.1a	43.0b	41.7b
Altezza (60 giorni), cm	82.2a	92.5ab	95.5b
Diametro colletto (35 giorni), cm	0.60a	0.75b	0.71ab
Diametro colletto (60 giorni), cm	0,70a	0,86b	0,81b
N° foglie (35 giorni), n°	12.6a	16.1b	14.6ab
N° foglie (60 giorni), n°	24.0a	28.8ab	30.0b
Peso secco (parte epigea), g	10.98a	12.40ab	14.02b
Peso secco (parte ipogea), g	2.47a	2.91a	3,06a

Tabella 7 – Test in vivo su pomodoro

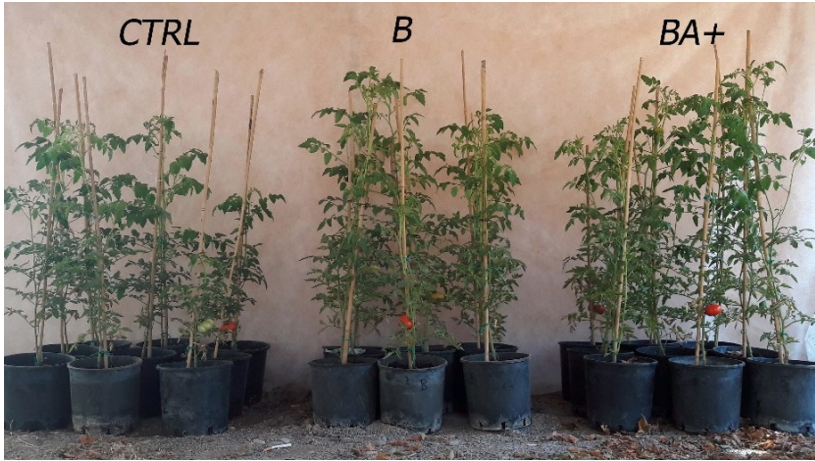


Figura 4 – Piante di pomodoro dopo 60 giorni di coltivazione



Figura 5 – Apparato radicale delle piante di pomodoro dopo 60 giorni di coltivazione

3.5 Prototipazione di cosmetici naturali

In collaborazione con l'azienda partner Qualiterbe S.r.l., nell'ambito del progetto Bioactam sono stati realizzati due prodotti cosmetici na-

turali in forma prototipale: uno scrub viso/corpo a base di biochar e un gel detergente viso/corpo contenente l'estratto acquoso di olivo precedentemente caratterizzato. Per una migliore conservabilità e più facile gestione del semilavorato è stata fatta una prova di liofilizzazione dell'estratto acquoso, che però si dimostra altamente igroscopico: per la stabilizzazione a lungo termine del semilavorato verranno condotti ulteriori test e studi oltre la durata delle attività del progetto. Il liofilo ottenuto è stato analizzato via HPLC-DAD-MS per identificare e quantificare i composti attivi presenti. Si riportano di seguito i risultati della caratterizzazione. Il saggio spettrofotometrico *in vitro* con reattivo di Folin-Ciocalteu ha evidenziato un contenuto in fenoli e polifenoli totali di 41.28 mg/g GAE.

Composto	mg/g
Idrossitirosolo glicole	1.86
Idrossitirosolo	2.76
Verbascoside	0.53
Luteolina 7-O-glucoside	0.98
Oleuropeina	21.08
Totale	27.21

Tabella 8 – Analisi quali-quantitativa HPLC-DAD-MS dei composti polifenolici e secoiridoidici nel liofilo dell'estratto di pature di olivo

Su entrambi i prototipi è stato effettuato uno studio di tollerabilità cutanea mediante patch test su volontari sani: in seguito a singola applicazione occlusiva del patch, non sono state osservate reazioni cutanee nei controlli a 30 minuti e 24 ore.

4 Conclusioni

Le attività del progetto Bioactam puntano ad apportare innovazioni di processo e di prodotto per rendere sostenibile la produzione di carbone/biochar e valutarne la possibile certificazione. Inoltre, il prototipo di forno, costruito su misura aziendale, rende possibile il rilancio dell'economia locale legata alla filiera forestale e agro-forestale, mirando ad un contesto di gestione sostenibile in base agli standard attualmente più applicati. Ulteriore contributo ad un nuovo modello di economia circolare è dato dalla messa a punto del processo estrattivo di principi attivi dalla biomassa destinata alla carbonizzazione. Il biochar e gli estratti naturali così ottenuti

sono stati caratterizzati e hanno mostrato interessanti potenzialità d'applicazione nel settore agronomico, come ammendanti che possono consentire la parziale sostituzione della torba, una risorsa non rinnovabile, sia per la realizzazione di prodotti cosmetici naturali. L'innovazione realizzata nell'ambito del progetto avrà quindi effetti positivi sul territorio dal punto di vista ambientale, grazie alla diminuzione delle esternalità negative della carbonizzazione; alla diminuzione dei fumi per la maggiore efficienza di combustione e alla riduzione degli spostamenti di materiali dal luogo di produzione primaria, con relativa concreta diminuzione delle emissioni dei trasporti. Potrà inoltre essere valutata la raccolta dei percolati, con attivazione di possibili filiere di impiego. A livello economico, la valorizzazione di residui legnosi mediante il recupero e la trasformazione, permetterà di convertire la gestione delle biomasse residuali da elemento critico per le aziende, a livello gestionale, economico ed ambientale, a una possibile risorsa con diverse applicazioni. Questa diversificazione e la varietà di prodotti ottenuti nell'ambito della nuova filiera creata sul territorio, permetteranno l'integrazione e la sinergia del lavoro di enti ed aziende operanti in più settori, con ulteriori positive ricadute anche a livello socio-economico.

Ringraziamenti

Il presente contributo è dedicato alla memoria della Prof.ssa Romani dell'Università degli Studi di Firenze, ideatrice e promotrice di questo e di numerosi altri progetti di ricerca, sviluppo e innovazione.

Le attività sono state svolte principalmente nell'ambito del progetto BIOACTAM (BIOCHAR: INNOVAZIONI OTTENUTE ATTRAVERSO CARBONIZZAZIONI TESTATE IN AMIATA E MAREMMA), finanziato dal PSR 2014-2020 - Misura 16.2 PS-GO 2017.

Un ulteriore supporto a questo lavoro è stato fornito dal Progetto ECS 0000024 Rome Technopole, - CUP B83C22002820006, PNRR Missione 4 Componente 2 Investimento 1.5, finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU.

Si ringraziano i partner del progetto: Consorzio Forestale dell'Amiata (capofila); Università degli Studi della Tuscia – Dipartimento DAFNE; Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali – INSTM (sez. Phytolab-Università di Firenze); ISIS Leopoldo II Lorena – CRISBA; Consorzio Olio Extravergine di Oliva Seggiano DOP; Heimat Servizi ambientali Società Cooperativa; Confederazione Italiana Agricoltori CIA Toscana; le imprese Qualiterbe S.r.l., Comandi Federico, Vinciarelli Enrico; Bussolino Roberta; Frantoio del Parco Società

Cooperativa Agricola; B&C Technosystems S.r.l..

Si ringrazia la Dott.ssa Chiara Vita (Università di Bari “Aldo Moro”, Bari, Italy) per il contributo nell’ambito della programmazione delle attività e della messa a punto del processo di estrazione.

Bibliografia

- ASKELAND, M., CLARKE, B., PAZ-FERREIRO, J. (2019). Comparative characterization of biochars produced at three selected pyrolysis temperatures from common woody and herbaceous waste streams. *Peer J.*, 7, e6784.
- BARCA, F. (2009), *An Agenda for a Reformed Cohesion Policy*, Rapporto indipendente predisposto per il Commissario Europeo alla Politica Regionale, Brussels.
- BARONTI, S., ALBERTI, G., DELLE VEDOVE, G., DI GENNARO, F., FELLET, G., GENESIO, L., VACCARI, F.P. (2010). The biochar option to improve plant yields: first results from some field and pot experiments in Italy. *Italian Journal of Agronomy*, 5(1), 3-12.
- CAMPO, M., PINELLI, P., ROMANI, A. (2016). Hydrolyzable tannins from sweet chestnut fractions obtained by a sustainable and eco-friendly industrial process. *Natural product communications*, 11(3), 1934578X1601100323.
- CHAN K.Y., VAN ZWIETEN L., MESZAROS I., DOWNIE A., JOSEPH S. (2007) Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Austral Journal of Soil Research* 45, 629-634.
- GLASER, B., LEHMANN, J., & ZECH, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and fertility of soils*, 35, 219-230.
- GRABER, E.R., MELLER HAREL, Y., KOLTON, M., CYTRYN, E., SILBER, A., RAV DAVID, D., ELAD, Y. (2010). Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and soil*, 337, 481-496.
- NAVIGLIO, D. (2003). Naviglio's principle and presentation of an innovative solid-liquid extraction technology: extractor Naviglio®. *Analytical letters*, 36(8), 1647-1659.
- OLIVARES-VICENTE, M., BARRAJON-CATALAN, E., HERRANZ-LOPEZ, M., SEGURA-CARRETERO, A., JOVEN, J., ENCINAR, J.A., MICOL, V. (2018). Plant-derived polyphenols in human health: Biological activity, metabolites and putative molecular targets. *Current drug metabolism*, 19(4), 351-369.
- PANWAR, N.L., KOTHARI, R., TYAGI, V.V. (2012). Thermo chemical conversion of biomass – eco friendly energy routes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1801-1816.
- PICCHIO, R., PARI, L., VENANZI, R., LATTERINI, F., SUARDI, A., ALFANO, V., BERGONZOLI, S. A new mobile kiln prototype for charcoal production. *Proceedings of the 28th European Biomass Conference and Exhibition, Virtual*, 6-9 July 2020; 686-689.

- PICCHIO, R. “Manuale di campo sulla carbonizzazione con sistemi a pirolisi lenta” Field handbook on the wood carbonization with slow pyrolysis systems, in Italian. Viterbo, Italy June 2023, ISBN: 979-12-200-5330-3 – ISBN-A: 10.979.12200/53303, 20 pp.
- ROMANI A., SIMONE G., CAMPO M., MONCINI L., BERNINI R. (2021). Sweet chestnut standardized fractions from sustainable circular process and green tea extract: *In vitro* inhibitory activity against phytopathogenic fungi for innovative applications in green agriculture. PLoS ONE 16(2), e0247298.
- ROMANI, A., CAMPO, M., URCIUOLI, S., MARRONE, G., NOCE, A., BERNINI, R. (2020). An industrial and sustainable platform for the production of bioactive micronized powders and extracts enriched in polyphenols from *Olea europaea* L. and *Vitis vinifera* L. wastes. *Frontiers in Nutrition*, 7, 120.
- ROMANI, A., MULAS, S., HEIMLER, D. (2017). Polyphenols and secoiridoids in raw material (*Olea europaea* L. leaves) and commercial food supplements. *European Food Research and Technology*, 243, 429-435.
- SELIM, S., ALBQMI, M., AL-SANEA, M.M., ALNUSAIRE, T.S., ALMUHAYAWI, M.S., ABDELGAWAD, H., EL-SAADONY, M.T. (2022). Valorizing the usage of olive leaves, bioactive compounds, biological activities, and food applications: A comprehensive review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1008349.
- VAUGHN, S.F., KENAR, J.A., THOMPSON, A.R., PETERSON, S.C. (2013). Comparison of biochars derived from wood pellets and pelletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates. *Industrial crops and products*, 51, 437-443.
- YAASHIKAA P.R., SENTHIL KUMAR P., VARJANI, S., SARAVANAN A. (2020). A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. *Biotechnology Reports*, 28, e00570.

Water and its (un)conscious consumption: consumers and their water footprint in food products

Erica Varese

Università di Torino

Maria Chiara Cesarani

Università di Torino

Szymon Jarosz

Cracow University of Economics

Magdalena Wojnarowska

Cracow University of Economics

ABSTRACT

Water is a primary resource, essential for life on planet Earth. It is not only a beverage or an indispensable tool for human hygiene and personal care, but also, above all, an essential means for agriculture and livestock farming. The aim of this study is to verify, through a short survey among a sample of University students, studying in Italy, their knowledge of the concept of “water footprint”. In brief: are young consumers aware of the amount of water hidden within the food they regularly consume?

To that end, a quantitative survey was conducted among young consumers at Italian Universities, using the “Computer-Assisted Web Interview” (CAWI) method.

The results revealed a pronounced curiosity for this issue, counteracted by, unfortunately, a widespread unawareness of the water footprint of food products.

The study focused on University students, who represent future consumers. For a more comprehensive research approach, the authors are already working on a new questionnaire to be administered in several European Union countries, aiming to involve a broader range of age groups.

To the authors’ knowledge, this is the first quantitative study on young people studying in Italy referring to their (un)conscious water consumption in relation to food choices.

KEYWORDS: sustainability; virtual water; water footprint; consumers; food products.

1 Introduction

Water, source of life. It is recognised that a human being can survive with about 2 litres of water a day (FAO, 2023), but the actual daily con-

sumption is much more. Water is, in fact, a fundamental ingredient or productive means of almost everything; from textile industry to food industry, from chemical and pharmaceutical industry to steel industry, and so on (ISTAT, 2019).

The importance of water has been widely recognized, with the United Nations (UN) inserting the need for available and sustainable management of water and sanitation into Goal 6 of the Sustainable Development Goals, approved in 2015 by the UN Member States in the context of the 2030 Agenda for Sustainable Development (UN, 2015).

As water is fundamental to almost everything, several fields of study can come into consideration, and it is therefore essential to focus on a specific one: in this paper we will investigate the knowledge of Italian young consumers about virtual water (VW) and water footprint (WF) applied to food production and consumption.

Specifically, this paper begins (second paragraph) with some definitions and the framework of VW and WF, in order to provide general terms of reference for better understanding the research outcome and results as well as the research hypothesis. The third paragraph illustrates the applied methodology, while the fourth provides the results of the research conducted on young consumers at Italian Universities. Finally, the fifth paragraph outlines conclusions, limitations, and future research perspectives.

2 General framework and research hypothesis

The concept of VW, invented in 1993 by John Anthony Allan (Allan, 1993), represents the water virtually embedded in commonly and daily used or bought products, services and processes (Hoekstra, 2003; Whitney and Stack Whitney, 2018).

Furthermore, ever since its creation, it has been used to indicate the amount of freshwater consumed or transformed in order to produce commodities or services at their origin and then traded and transported in international trade (*Ibid.*; Ma, Opp, Yang, 2020). This is the reason why it is also sometimes called indirect water (Water Footprint Calculator, 2019); it differs from direct water, which is the water that is felt, seen and used in a specific location and time (and/or person) (*Ibid.*).

The notion of VW was created to highlight the high usage of water in agriculture (Allan, 1993; Allan, 1994; Allan, 1997; Hoekstra, 2003); since 1993, several approaches have been used in order to have a more precise quantitative definition: the first one connects VW to the volume of water that is actually used to produce a product (*Ibid.*) so as to valorise singularity for each country, business and production cycle. A second approach

focuses on the consumer's perspective rather than on the producer's, defining VW as the amount of water that would be required to produce the product at the exact place where the product is needed (Renault, 2003).

Regardless of the importance of this concept, VW received relatively little attention from scholars until the concept of WF was introduced (Ma, Opp, Yang, 2020). The concept of WF is indeed more recent: it was invented by Hoekstra and Hung in 2002 (Hoekstra and Hung, 2002) as a calculation of the water use patterns at several levels (Mathur and Kaushik, 2015). In other words, it is the water contained in all goods and services consumed by a specific person, or by all citizens of a given country, in a given period of time.

WF aims to show people their own impact on Earth's natural resources. According to some authors (Mathur and Kaushik, 2015; Hoekstra, 2017; Hoekstra *et Al.*, 2019; Ma, Opp, Yang, 2020), WF has a similar scope to the ecological footprint, coined by Rees in early 1990 (Rees, 1992) and helps identifying the more sustainable consumption patterns.

Both VW and WF measure direct and indirect water consumption, taking into consideration the freshwater appropriation. Nevertheless, the two terms differ because the first is a more static parameter, while the latter is a multidimensional indicator, explicating what source of water is used, when it is used, where it is located, and the quality of water used.

It is in the context of WF, in fact, that the types of freshwaters have been classified into green, blue, and grey (Chapagain and Hoekstra, 2011; Fader *et al.*, 2011; Mathur and Kaushik, 2015; Mubako, 2019; Hou et al, 2023). Specifically, green water refers to rainfall and snow water, which becomes embedded in the soil nourishing plants without any human intervention. Blue water is the groundwater or surface water contained in lakes, rivers etc., that needs human intervention through water pumping and other activities in order to be used. Finally, grey water refers to freshwater used to dilute pollution caused by production methods and processes so as to reduce it within the parameters prescribed by national and international legislations. All these different types of water shall be considered when calculating the actual usage of freshwater in production.

Given the above, it becomes important to understand which sectors utilise more water. At global level, agriculture represents the highest water withdrawing sector with 70%, while industry is the second, at 19%, and municipal is the third and last at 11 % (FAO AQUASTAT, 2023). In Europe the above statistics are different as agriculture counts only for 21% while Industry for 57% and Municipalities for 22% (*Ibid.*).

It is therefore also crucial to understand the actual knowledge of people regarding VW and WF with reference to two foods that are widely consumed in Italy, i.e. milk and red meat.

Considering such premises, this study analyses, based on a quantitative survey conducted among young consumers at Italian Universities by the “Computer-Assisted Web Interview” (CAWI) method (Kagerbauer et. al. 2013), consumers’ knowledge about VW and WF of specific food products.

To this end, nine research hypotheses (Hs) were formulated:

- H1) If individuals with education in sustainable development are aware of the concept of VW, they are more likely to make informed product choices, considering their actual environmental impact, compared to individuals without education in this area.
- H2) Greater ecological awareness can influence more environmentally friendly product choices that consider the products’ actual environmental impact. At the same time, the concept of VW can modify this influence, potentially strengthening it among individuals with a higher level of ecological awareness but having a smaller impact on individuals with lower ecological awareness.
- H3) Knowledge of the level of water consumption in production is a significant moderator of the impact of meat consumption frequency on purchasing decisions.
- H4) Knowledge of the level of water consumption in production is a significant moderator of the impact of milk and dairy product consumption frequency on purchasing decisions.
- H5) Knowledge of the level of water consumption in production is a significant moderator of the impact of vegetable beverage consumption frequency on purchasing decisions.
- H6) Familiarity with the concept of VW is a significant moderator of the impact of product price on food waste frequency.
- H7) Familiarity with the concept of VW is a significant moderator of the impact of product quality on food waste frequency.
- H8) Familiarity with the concept of VW is a significant moderator of the impact of product nutritional value on food waste frequency.
- H9) Familiarity with the concept of VW is a significant moderator of the impact of a product’s low environmental impact on food waste frequency.

3 Methodology

According to the set objectives, the study was aimed at young consumers living in Italy. Considering that the target group consisted of young

people, an internet-based survey was prepared. Therefore, a CAWI was conducted to test the adopted hypotheses and research objectives. The method used is commonly employed by other researchers who highlight its numerous advantages: the questionnaire can include graphic and multimedia elements, it is relatively fast, and it is the best tool for reaching internet users who were the target group of this study (Varese et al., 2023; Kabaja et al., 2022). As suggested by Vermeir and Verbeke (2008), students were chosen because they represent a demographic target as «they are in the end stage of forming their personal identity and developing a personal system of beliefs and values. Very likely, they will take their habits into their older age and therefore provide policy makers with ample possibilities to create sustainable food consumption habits within the [...] population». In accordance with the above-mentioned authors, as students have a great potential to encourage and support new grocery shopping habits, their opinion can drive the consumption of foods bearing certification schemes, helping the resilience of the whole agri-food supply chain. Students will probably be key stakeholders for more conscious future consumption (Varese et al., 2022).

The research process began on July 1, 2023, and finished on August 30, 2023. Each participant agreed to take part in the study. Participants were informed about data processing procedures and data protection. The study was conducted anonymously. A purposive sampling method was used, with the predetermined sample size of 300 participants. The actual number of respondents was higher. However, some surveys were not completed or contained gaps, leading to the exclusion of responses and the impossibility to consider them in the study. As a result, 306 surveys were included in the analysis (N=306).

A significance level of 0.05 was adopted for the analysis. Therefore, all p-values below 0.05 were interpreted as significant associations. The analysis was conducted using R version 4.2.2 and Excel 2019.

4 Results

The statistical analysis aimed to investigate the impact of knowledge about virtual water and other factors on consumer choices and eating behaviours. Based on the formulated hypotheses and adopted research models, the data collected in the survey research was analysed. Table 1 shows the statistical characteristics for model one with the variable Adequate Education (AE).

Dependent variable (Y)	Independent variable (X)	Moderator (M)	Main effect	Interaction effect	Significance of the main effect	Significance of moderation
REEV	AE	VWK	-0,072	0,069	p=0,051	p=0,071

Table 1 – Model 1. Adequate Education

Source: own research. Main effect not statistically significant ($p>0.05$).
Moderation not statistically significant ($p>0.05$)

In Model 1, the impact of sustainability education on informed product choices was examined. The variable AE was created from the answers to the following question: “How much do you agree with this statement?: During my studies I received an adequate education on sustainability and environmental impact issues”, where higher values indicate a belief in adequate education. EIPCA, Environmental Impact of Purchasing Choices Awareness (EIPCA – Model 2), is the average of two questions, i.e. “How much do you agree with this statement?: I am aware of the environmental impact of my purchasing choices” and “How much do you agree with this statement? It is important to improve consumer awareness tools on environmental issues”. Re-evaluation (REEV) is the average of three questions from the group indicating readiness to change purchasing behaviour. VW Knowledge (VWK) is based on the question “Do you know what virtual water is?” and indicates knowledge about VW (Table 2.).

Dependent variable (Y)	Independent variable (X)	Moderator (M)	Main effect	Interaction effect	Significance of the main effect	Significance of moderation
REEV	EIPCA	VWK	0,191	-0,128	$p<0,001$ *	$p=0,487$

Table 2 – Model 2. Environmental Impact of Purchasing Choices Awareness

Source: own research. Main effect statistically significant ($p<0.05$).
Moderation not statistically significant ($p>0.05$)

The results indicated that sustainability education does not directly influence informed product choices when we include knowledge about VW. However, higher environmental awareness is associated with a greater willingness to change one’s own purchasing choices, regardless of knowledge of VW.

In Model 3, the effect of red meat consumption on purchasing decisions was analysed. Its statistical characteristics are included in Table 3. The Red Meat Consumption (RMC) variable is based on the question “How often do you consume each of the following categories of food prod-

ucts: Red meat”. Meat Burger Preference (MBP) is based on the question “Knowing that to produce 150 grams of soy burger you need an average of 158 litres of water while 150 grams of veal burger need an average of 2,350 litres of water, which one would you buy?” (Ercin *et al.*, 2012). Beef Water Demand Awareness (BWDA) is based on the question “Do you know that about 15,000 litres of water are needed to produce 1 kg of beef?”. The results indicated that people who eat red meat more often are more likely to choose a burger over meat, but knowledge of water consumption in production does not influence this decision.

Dependent variable (Y)	Independent variable (X)	Moderator (M)	Main effect	Interaction effect	Significance of the main effect	Significance of moderation
MBP	RMC	BWDA	0,265	0,115	p<0,001 *	p=0,117

Table 3 – Model 3. Red Meat Consumption

Source: own research. Main effect statistically significant (p<0.05).
Moderation not statistically significant (p>0.05)

Model 4 focused on the frequency of consumption of dairy products and vegetable drinks. Dairy Products Consumption (DPC) is based on the question “How often do you consume each of the following categories of food products: Milk and dairy products (including cheese and yogurt)”. (Table 4.) Vegetable Drinks Consumption (VDC – model 5.) is based on the question “How often do you consume each of the following categories of food products: Vegetable drinks (soy, almond, rice etc.)” (Table 5.). Soymilk Preference (SMP) is based on the question “Knowing that an average of 1,050 litres of water are needed to produce 1 litre of cow milk and that about 297 litres are needed to produce 1 litre of soy “milk”, which one would you buy?” (*Ibid.*). Cow Milk Water Demand Awareness (CWMDA) is based on the question “Do you know that to produce 1 litre of cow milk you need about 4 times the water needed to produce 1 litre of soy “milk”?”. The results indicated that people who consume dairy products or vegetable drinks more often have specific shopping preferences, but knowledge about water consumption in production does not influence these decisions.

Dependent variable (Y)	Independent variable (X)	Moderator (M)	Main effect	Interaction effect	Significance of the main effect	Significance of moderation
SMP	DPC	CMWDA	-0,173	0,02	p<0,001 *	p=0,948

Table 4 – Model 4. Dairy Products Consumption

Source: own research. Main effect statistically significant (p<0.05).
Moderation not statistically significant (p>0.05)

Dependent variable (Y)	Independent variable (X)	Moderator (M)	Main effect	Interaction effect	Significance of the main effect	Significance of moderation
SMP	VDC	CMWDA	0,242	0,101	p<0,001 *	p=0,415

Table 5 – Model 5. Vegetable Drinks Consumption

Source: own research. Main effect statistically significant (p<0.05).
Moderation not statistically significant (p>0.05)

In Model 6, the effect of various product factors on the frequency of discarding food was investigated (Table 6). Price Impact (PI), Quality Impact (QI), Nutritional Value Impact (NVI), and Environmental Impact Influence (EII) are based on four questions from the category “How much do you agree with the following statements regarding your food product choices?”, i.e. specifically: The price of the product affects my purchases; The quality of the product influences my purchases; The nutritional value of the product affects my purchases; The low environmental impact of the product influences my purchases. Throwing Food Away (TFA) is based on the question “How often do you throw away food?”. The results indicated that the nutritional value of the product and its environmental impact affect the frequency of throwing away food, but knowledge of virtual water does not affect this association.

Dependent variable (Y)	Independent variable (X)	Moderator (M)	Main effect	Interaction effect	Significance of the main effect	Significance of moderation
TFA	PI	VWK	0,019	0,067	p=0,738	p=0,366
TFA	QI	VWK	-0,019	0,003	p=0,727	p=0,411
TFA	NVI	VWK	-0,111	0,092	p=0,009 *	p=0,339
TFA	EII	VWK	-0,166	0,052	p<0,001 *	p=0,57

Table 6 – Statistical features of the model 6.

Source: own research. Moderation in each case not statistically significant (p>0.05).
Statistically significant main effect (p<0.05) for: NVI and EII

The price and quality of the product do not affect the frequency of throwing away food. In this respect, the analysis provided valuable information on the impact of VW knowledge and other factors on consumer choices. The results indicate that environmental awareness and knowledge of VW have a limited impact on some consumer behaviours. There is a need for further research to understand what other factors can influence these decisions and how more sustainable behaviour among consumers can be promoted.

5 Discussion

In the context of Model 1 and Model 2, analysis of the results led to several important conclusions. First, while sustainability education is important, it does not directly translate into informed product choices when we include knowledge of VW as a moderating variable. Hypothesis 1: “If individuals with education in sustainable development are aware of the concept of VW, they are more likely to make informed product choices, considering their actual environmental impact, compared to individuals without education in this area” was not confirmed. The main effect was statistically non-significant ($p=0.051$), and the moderation was also found to be non-significant ($p=0.071$). This may suggest that declarations of knowledge alone are not sufficient to influence purchasing behaviour. Secondly, higher environmental awareness, represented by EIPCA, is strongly associated with a greater willingness to change one’s own purchasing choices. This underlines the crucial importance of environmental education and raising environmental awareness in society, especially in the context of consumer choices.

Hypothesis 2: “Greater ecological awareness can influence more environmentally friendly product choices that consider the products’ actual environmental impact. At the same time, the concept of VW can modify this influence, potentially strengthening it among individuals with a higher level of ecological awareness but having a smaller impact on individuals with lower ecological awareness” was partially confirmed. The main effect was statistically significant ($p<0.001$), but the moderation was non-significant ($p=0.487$).

Hypothesis 3: “Knowledge of the level of water consumption in production is a significant moderator of the impact of meat consumption frequency on purchasing decisions” was partially confirmed. The main effect was statistically significant ($p<0.001$), but the moderation was non-significant ($p=0.117$). The analysis of the results obtained in connection with Model 3 may contribute to the following considerations. First, there

is a clear correlation between the frequency of eating red meat and the preference for choosing a burger over meat. This shows that eating habits play a key role in shaping purchasing decisions in the context of meat products. Moreover, although it might seem that knowledge of water consumption in meat production would influence these decisions (significance as a moderating variable), the results indicate otherwise. This knowledge did not significantly affect the choice of burgers by respondents.

In the light of the above observations, the following practical conclusions can be drawn: there is a need for deeper consumer education about the impact of meat production on the environment, especially in the context of water consumption. Although knowledge about VW did not influence purchasing decisions in this study, it may be the result of insufficient education or lack of awareness of the scale of the problem. Information and education campaigns should be aimed at highlighting the real impact of meat production on water resources to increase the chances of consumers to make more environmentally conscious choices.

Models 4 and 5 indicate that there is a clear correlation between the frequency of consumption of dairy products and vegetable drinks and shopping preferences. Both hypothesis 4: “Knowledge of the level of water consumption in production is a significant moderator of the impact of milk and dairy product consumption frequency on purchasing decisions” and hypothesis 5: “Knowledge of the level of water consumption in production is a significant moderator of the impact of vegetable beverage consumption frequency on purchasing decisions” were partially confirmed. The main effects were statistically significant ($p < 0.001$), but the moderation was non-significant ($p > 0.05$).

It can be concluded that eating habits play a key role in shaping purchasing decisions in the context of these products. However, as in previous models, knowledge of water consumption in production did not have a significant impact on these decisions. Although knowledge about VW did not directly influence purchasing decisions in this study, it may be the result of insufficient education or lack of full awareness of the scale of the problem. Education and information activities should be aimed at highlighting the real impact of milk production on water resources so that consumers can make more informed choices.

As for the Model 6, it concerns hypotheses 6., 7., 8. and 9. When it comes to verification, “Familiarity with the concept of VW is a significant moderator of the impact of product price on food waste frequency” (H6.) and “Familiarity with the concept of VW is a significant moderator of the impact of product quality on food waste frequency” (H7.) were both not confirmed ($p > 0.05$). On the other hand, “Familiarity with the concept of VW is a significant moderator of the impact of product nutritional value

on food waste frequency” (H8.) and “Familiarity with the concept of VW is a significant moderator of the impact of a product’s low environmental impact on food waste frequency” (H9.) were partially verified (the main effect was statistically significant, but the moderation was non-significant in both cases).

The Model 6 analysis highlights the importance of the nutritional value and environmental impact of the product in the context of consumer decisions about throwing away food. However, the lack of influence of knowledge about VW on these decisions suggests that consumers may not be fully aware of the scale of the problem or do not understand its significance. This is further evidence of the need to increase consumer education about VW and its impact on the environment. Further research should focus on understanding what other factors can influence consumer decisions in the context of throwing away food and how more sustainable behaviour among consumers can be promoted. Therefore, there is an urgent need for more effective environmental education, which not only provides knowledge, but also shapes attitudes and behaviours. This education should be targeted at specific actions that people can take in their daily lives to reduce their impact on the environment. In addition, information and education campaigns should be aimed at highlighting the importance of virtual water and its impact on global water resources.

6 Conclusions

The analysis of the results suggests that while some respondents claim to be knowledgeable about VW and WF, their actual understanding of the phenomenon and its impact on the environment may be limited.

The lack of statistical significance of the VW variable in models may indicate the superficiality of the declared knowledge. It is possible that consumers have only a general idea of virtual water, without fully understanding its meaning and consequences for the environment. This interpretation of the results highlights the need for future research focused on accurately determining consumers’ level of knowledge about virtual water.

It is important to understand what aspects of this phenomenon are most incomprehensible or unknown. This knowledge can then contribute to the development of effective educational strategies that focus on highlighting the impact of consumer choices on water use and overall environmental impact. Considering the global challenges of water resources, educating consumers about their personal impact on the environment is becoming not only important but essential.

Overall, the research provided important insights into the impact

of VW knowledge and other factors on consumer choices. The results suggest that knowledge about VW alone is not a sufficient factor influencing consumers' purchasing decisions, as in each of the adopted models the moderation of the "VW knowledge" factor turned out to be statistically insignificant, which means that although environmental awareness is associated with a greater willingness to change purchasing choices, knowledge about VW did not significantly influence these decisions in the studied models.

In addition, this research has important implications for sustainability. Promoting knowledge about VW, WF and other ecological aspects can be a key element of strategies to promote more sustainable consumer behaviour. However, to achieve the desired changes, environmental education must be combined with other activities, such as economic incentives or regulation. These conclusions are very important, especially since sustainable consumption is a key element in achieving the SDGs. These studies provide important information on the barriers and motivations associated with sustainable consumer choices, which can contribute to a better understanding and policymaking in this area.

Acknowledgements

The authors would like to thank the editors and the anonymous referees for their comments and helpful suggestions, Dr. Sebastian Turcu for his support in the questionnaire administration, and all respondents who made this investigation possible by their answers.

References

- ALLAN, J.A. (1993). Fortunately There are Substitutes for Water otherwise our Hydro-political Futures would be Impossible. In: ODA, Priorities for water resources allocation and management, ODA, London, 13-26.
- ALLAN, J.A. (1994). Overall perspectives on countries and regions, in: Rogers, P. and Lydon, P. *Water in the Arab World: perspectives and prognoses*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 65-100.
- ALLAN, J.A. (1997). Virtual water: A long term solution for water short Middle Eastern economies?, Paper presented at the 1997 British Association Festival of Science, University of Leeds, 9 September 1997.
- CHAPAGAIN, A., HOEKSTRA, A.Y., The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspective, *Ecological Economics*, 70, 4, 749-758.
- ERCIN, A.E., ALDAYA, M.M., HOEKSTRA, A.Y. (2012). The Water Footprint of Soy Milk and Soy Burger and equivalent animal products, *Ecological Indicators*, 18, 392-402.
- FADER, M., GERTEN, D., THAMMER, M., HEINKE, J., LOTZE-CAMPEN, H., LUCHT, W., AND CRAMER, W. (2011). Internal and External Green-blue Agricultural Water Footprints of Nations, and Related Water and Land Savings through Trade, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1641-1660.
- FAO AQUASTAT, 2023. Water Use, [<https://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use/>] (Accessed on 9 September 2023).
- FAO, Water, 2023, [<https://www.fao.org/water/en/>] (Accessed on 8 September 2023).
- HOEKSTRA, A.Y. (2003). Virtual Water: An Introduction. In Hoekstra (ed.), *Virtual Water Trade Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, IHE Delft, 13-23;
- HOEKSTRA, A.Y. (2017). Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. *Water Resources Management*, 31, 3061-3081.
- HOEKSTRA, A.Y. AND HUNG, P.Q. (2002). Virtual water trade: A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade. In *Value of Water Research Report Series No.11*, IHE, Delft, the Netherlands.
- HOEKSTRA, A.Y., CHAPAGAIN, A.K., VAN OEL, P.R. (2019). Progress in Water Footprint Assessment: Towards Collective Action in Water Governance. *Water*, 11, 1070.

- HOU, S., XU, M., QU, S. (2023). The “Gravity” for Global Virtual Water Flows: From Quantity and Quality Perspectives, *Journal of Environmental Management*, 229, 116984.
- ISTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA (ISTAT), *Utilizzo e Qualità della Risorsa Idrica in Italia*, ISTAT, Roma 2019.
- KABAJA, B., WOJNAROWSKA, M., CESARANI, M.C., VARESE, E. (2022). Recognizability of Ecolabels on Ecommerce Websites: The Case for Younger Consumers in Poland, *Sustainability*, Vol. 14, p. 5351.
- KAGERBAUER, M., MANZ, W. AND ZUMKELLER, D. (2013). Analysis of PAPI, CATI, and CAWI Methods for a Multiday Household Travel Survey, Zmud, J., Lee-Gosselin, M., Munizaga, M. and Carrasco, J.A. (Ed.). *Transport Survey Methods*, Emerald Group Publishing Limited, Bingley, pp. 289-304.
- MA, W., OPP, C., YANG, D. Past, Present, and Future of Virtual Water and Water Footprint, in «Water», 2020, 12, 3068.
- MATHUR, D. AND KAUSHIK, P. (2015). Water Footprint and Virtual Water, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3, 03, 1-6.
- MUBAKO, S.T. (2019). Blue, Green, and Grey Water Quantification Approaches: A Bibliometric and Literature Review, *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 165, 1, 4-19.
- REES, W.E. (1992). Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves out, *Environment and Urbanization*, 4(2), 121-130.
- RENAULT, D. (2003). Value of virtual water in food: Principles and virtues. In Hoekstra (ed.), *Virtual Water Trade Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, IHE Delft, 77-91.
- UNITED NATIONS, RESOLUTION ADOPTED BY THE GENERAL ASSEMBLY ON 25 SEPTEMBER 2015, [https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E] (accessed 8 September 2023).
- VARESE, E., CESARANI, MC., BOLLANI, L., KABAJA, B., WOJNAROWSKA, M. (2022). Consumers’ perception towards quality certifications: is this the key to help rural areas’ resilience? In Aa.Vv. (Edited by) Olga Gagauz. *Proceedings of the International Scientific-Practical Conference “Economic growth in the conditions of globalization” XVI Edition*, October 12-13, 2022, Chisinau (MD). National Institute for Economic Research (Nier), Chisinau; 298-307
- VARESE, E., CESARANI, M.C., KABAJA, B., SOŁTYSIK, M., WOJNAROWSKA, M. (2023). Online food delivery habits and its environmental impact during the Covid-19 Pandemic: an Italian and Polish Study, *British Food Journal*, ahead of print.

- WATER FOOTPRINT CALCULATOR, What is Virtual Water?, 2019, [<https://www.watercalculator.org/footprint/what-is-virtual-water/#:-:text=While%20virtual%20water%20and%20water,water%20used%20along%20value%20chain>] (accessed 8 September 2023).
- WHITNEY, K., STACK WHITNEY, K. (2018). John Anthony Allan's 'Virtual Water': Natural Resources Management in the Wake of Neoliberalism, in «Environment & Society Portal», Arcadia, no. 11. Rachel Carson Center for Environment and Society.

L'applicazione della sostenibilità nelle PMI agroalimentari digitalizzate: il caso Sfera Agricola

Biasino Farace
University of Pisa
Angela Tarabella
University of Pisa

ABSTRACT

Il settore agroalimentare è un attore sempre più cruciale nel garantire il futuro del pianeta in cui viviamo, essendo al centro di un'ampia gamma di sfide economiche, ambientali e sociali. L'integrazione di pratiche sostenibili si è rivelata fondamentale per allineare le attività nel settore agroalimentare italiano con gli obiettivi dell'Aenda 2030 e per apportare significativi cambiamenti in un settore frammentato e perlopiù caratterizzato da imprese di piccole e medie dimensioni (PMI). A supporto di tale processo, il rapido progresso delle tecnologie digitali sta offrendo opportunità di trasformazione per le imprese e apre a nuove prospettive di innovazione sostenibile. La rivoluzione digitale 4.0 ha infatti catalizzato la diffusione di modelli di business intelligenti e innovativi, quali lo *Smart Farming* e l'*Agricoltura di Precisione*. Nella ricerca accademica, resta ancora in gran parte inesplorata una comprensione approfondita delle complesse interazioni tra digitalizzazione e sostenibilità, specialmente nel contesto delle PMI italiane. Infatti, tali imprese affrontano sfide significative nel processo di modernizzazione manageriale, organizzativa e tecnologica, a cui si aggiunge una predisposizione culturale radicata in tradizioni di lungo corso. La presente ricerca si propone di esplorare, utilizzando il metodo del caso studio con approccio interpretativo, come una PMI italiana che adotta un sistema di coltivazione idroponica a ciclo chiuso digitalizzato, applichi i principi di sostenibilità nel proprio processo produttivo mostrando evidenze ed effetti derivanti da tale pratica.

PAROLE CHIAVE: agrifood, sustainability, digital technologies, digitalization, SMEs, case study

KEYWORDS: digitalizzazione, agroalimentare, sostenibilità, PMI, caso studio

1 Introduzione

Il settore agroalimentare riveste un ruolo cruciale nel garantire il futuro del nostro pianeta e dovrà sempre più tenere conto della crescita de-

mografica, del degrado ambientale, delle disuguaglianze sociali, del cambiamento climatico, della perdita di biodiversità, dell'uso eccessivo delle risorse naturali, della nutrizione e salute, della perdita di cibo e dello spreco alimentare (FAO, 2015, 2017). La pandemia da Covid-19 ha ulteriormente acuito questi problemi, portando a una maggiore consapevolezza dell'importanza del settore agroalimentare per affrontare le sfide globali (FAO, 2022).

Secondo le stime delle Nazioni Unite, la popolazione mondiale sarà compresa tra 9,4 e 10 miliardi nel 2050 e tra 8,9 e 12,4 miliardi nel 2100 (ONU/DESA, 2022). Questo aumento demografico si tradurrà in una crescente domanda di cibo (FAO, 2022). Tuttavia, il settore agroalimentare attuale è considerato insostenibile, inefficace, instabile e incapace di soddisfare adeguatamente i bisogni primari di una vasta parte della popolazione mondiale (FAO, 2021, Jurgilevich et al., 2016).

Programmi politici, comitati scientifici e organizzazioni pubbliche e private in tutto il mondo sono alla costante ricerca di soluzioni per garantire che i sistemi agroalimentari futuri possano soddisfare le esigenze di una popolazione in crescita, sempre più urbanizzata, secondo i paradigmi della sostenibilità (ONU, 2015, Zhang et al., 2019).

Nella letteratura di riferimento, la digitalizzazione nel settore agroalimentare è riconosciuta come un elemento fondamentale per sostenere la crescita della produttività e per rispondere alla crescente domanda di cibo a livello globale, tutto ciò preservando le risorse naturali (FAO, 2017). L'avvento del paradigma 4.0 ha dato origine a una diffusa adozione di modelli di business all'avanguardia e intelligenti, tra cui spicca lo *Smart Farming* e l'*Agricoltura di Precisione* (Trivelli et al., 2019, Wolfert et al., 2017). Gli studiosi hanno ampiamente documentato come questi innovativi modelli di business apportino un contributo significativo alla sostenibilità, sfruttando tecnologie all'avanguardia quali robot intelligenti, sensori, droni, blockchain, sistemi informativi e big data (Miranda et al., 2019). Le tecnologie digitali, infatti, contribuiscono a rendere il settore agroalimentare più efficiente, inclusivo e sostenibile, aumentando i benefici per gli agricoltori, i consumatori e per la società nel suo complesso, potendo contribuire ad aumentare la produttività, migliorare l'efficienza nell'uso delle risorse e sostenere la resilienza dell'intero settore (Trendov et al., 2019).

Si rileva che, nonostante siano stati condotti diversi studi volti ad ampliare la comprensione di come le tecnologie digitali possano contribuire all'integrazione e al miglioramento degli aspetti legati alla sostenibilità (Klerkx and Rose, 2020), persistono significative lacune di conoscenza. In particolare, il divario di ricerca si concentra sulla necessità di analizzare in dettaglio il modo in cui le tecnologie digitali facilitano l'implementazione dei principi di sostenibilità all'interno delle PMI e di comprendere gli effetti derivanti dall'adozione di tali tecnologie in questo specifico contesto. Tale

gap letterario deriva dalla difficoltà di collegare questo tema pionieristico alle dinamiche operative delle PMI, spesso incapaci di attuare processi di modernizzazione a livello manageriale, organizzativo e tecnologico (Siver-tsson and Tell, 2015, Thrassou, 2016, Vrontis et al., 2016). È cruciale notare, infatti, che in Europa, e di riflesso in Italia, sussistono rilevanti barriere socioeconomiche che fungono da ostacoli nell'adozione e nella diffusione di tali innovazioni tecnologiche nelle PMI (Klewitz and Hansen, 2014). Queste sfide spaziano dalla persistenza di modelli di business obsoleti, alla difficoltà di accesso ai finanziamenti, alle disparità nel livello di istruzione e alle specificità culturali presenti nei singoli Paesi (Annosi et al., 2020, Long et al., 2016).

Con l'obiettivo di apportare un contributo alla letteratura esistente, la presente ricerca si propone di esaminare, utilizzando la metodologia qualitativa con il metodo del caso studio interpretativo (Orlikowski and Baroudi, 1991, Walsham, 1995, 2006, Yin, 2003), come una PMI italiana, che adotta un sistema di coltivazione idroponica a ciclo chiuso altamente digitalizzato, applichi i principi di sostenibilità nel proprio processo produttivo. I risultati evidenziano che le tecnologie digitali contribuiscono ad agevolare in modo significativo l'applicazione della sostenibilità in tutte le sue dimensioni, rendendo il settore più resiliente.

2 Metodologia

Nel perseguire gli obiettivi della ricerca, abbiamo adottato il metodo del caso studio (Yin, 2003) seguendo un approccio interpretativo (Benbasat et al., 1987, Orlikowski and Baroudi, 1991). Questa selezione metodologica è stata guidata dalla volontà di esaminare fenomeni contemporanei all'interno del loro contesto di vita reale, dove spesso si verificano situazioni in cui i confini tra il fenomeno stesso e il contesto circostante non sono chiaramente delineati (Yin, 2003). Infatti, il metodo del caso studio consente ai ricercatori di esplorare dettagliatamente fenomeni specifici e acquisirne una comprensione approfondita, sviluppando teorie basate sull'esperienza pratica. Attraverso questo metodo, siamo in grado di rispondere alle domande su "come" e "perché", consentendoci di comprendere meglio la natura intricata e la complessità dei processi in atto (Benbasat et al., 1987, Myers, 2009).

2.1 Selezione del Caso Studio

Poiché il campionamento qualitativo mira a ottenere informazioni dettagliate e sceglie casi specifici invece di adottare un approccio casuale (Crabtree and Miller, 1992), in questo caso studio è stata selezionata

un'azienda già nota agli autori, Sfera Agricola Srl (SA), ritenuta idonea a soddisfare i requisiti della domanda di ricerca (Crabtree and Miller, 1992, Fenno, 2014).

Le ragioni dietro questa scelta sono molteplici:

- I) *Processo tecnologico altamente digitalizzato.* SA rappresenta la più grande e avanzata serra idroponica in Italia, riconosciuta come uno dei leader in innovazione e sostenibilità a livello europeo. La sua adozione di tecnologie digitali e l'ottimizzazione continua dei processi produttivi le consentono di incrementare la produttività, ottimizzare l'utilizzo delle risorse e ridurre i consumi energetici.
- II) *Impegno significativo per la sostenibilità.* SA si è sempre contraddistinta per il suo chiaro impegno manageriale nei confronti della sostenibilità. Gli investitori e la direzione aziendale hanno coerentemente orientato i loro progetti di sviluppo seguendo il paradigma del "produrre di più con meno risorse", abbracciando le direttive della FAO che indicano la necessità di soddisfare le crescenti esigenze di una popolazione mondiale, mentre si affronta la sempre più evidente scarsità delle risorse naturali.
- III) *Disponibilità del management alla condivisione delle informazioni.* Sin dall'inizio, SA si è dimostrata entusiasta di partecipare al caso studio, dedicando notevole tempo alle interviste e offrendo a ciascun dipendente l'opportunità di contribuire a questa ricerca. Questo impegno da parte dell'azienda è stato fondamentale per la realizzazione del caso studio, poiché la fiducia manifestata dall'azienda nei confronti dei ricercatori e la chiarezza delle informazioni fornite sono elementi considerati essenziali per garantire la completezza e la solidità del lavoro di ricerca (Meyer, 2001, Yin, 2003).
- IV) *Rilevanza rispetto agli obiettivi di ricerca e al contesto agroalimentare.* La strategia sostenibile adottata da SA si basa sulla fondamentale idea di integrare nel proprio processo produttivo diverse tecnologie digitali attraverso un sistema informativo. Questo aspetto riveste un'importanza cruciale e centrale per rispondere alla nostra domanda di ricerca e per il contributo complessivo di questo studio al settore agroalimentare. Il tema della sostenibilità e della digitalizzazione nel contesto agroalimentare ha suscitato un notevole interesse tra gli studiosi, che lo considerano una sfida significativa data la complessità di collegare quest'innovazione pionieristica alle dinamiche delle PMI (Sivertsson and Tell, 2015, Thrassou, 2016).

2.2 Raccolta dati

Dato il carattere interpretativo di questo studio, si è deciso di adottare un approccio combinato nell'acquisizione dei dati, primari e secondari, seguendo le linee guida di Creswell (2014). Le interviste sul campo, semi-strutturate, hanno rappresentato la principale fonte di dati primari (Walsham, 1995). Le fonti secondarie sono state costituite da documenti interni ed esterni accessibili ai ricercatori, tra cui relazioni, presentazioni aziendali, video, contenuti sui social network, siti web, notizie, interviste rilasciate ad attori istituzionali del settore (Creswell, 2013, Myers, 2009). La raccolta dei dati si è estesa dal 2019 al 2022.

2.3 Protocollo di intervista

Al fine di raggiungere gli obiettivi della ricerca, è stato sviluppato un protocollo di intervista strutturato e appositamente progettato per coprire i concetti critici in linea con gli obiettivi della ricerca (Yin, 2003). Il protocollo di intervista è stato sottoposto a un processo di pre-test che ha coinvolto vari ricercatori esperti nei temi oggetto di indagine e familiari con il metodo di ricerca adottato.

Le interviste semi-strutturate sono state condotte nel periodo compreso tra il 2020 e il 2022, coinvolgendo diverse figure aziendali, tra cui Amministratore Delegato (AD), responsabili della sostenibilità e dei sistemi informativi, assistenti e personale operativo. Durante le interviste, sono state raccolte informazioni riguardanti l'identità aziendale, la cultura, le motivazioni e le convinzioni che guidano l'approccio aziendale alla sostenibilità e il ruolo cruciale delle tecnologie digitali applicate al processo produttivo. Al fine di evitare che il protocollo di intervista risultasse troppo rigido e limitasse la spontaneità delle informazioni, sono state accolte risposte e discussioni libere da parte dei partecipanti.

Dopo aver ottenuto l'approvazione dell'azienda per la validazione del nostro protocollo di ricerca, le interviste sono state registrate e trascritte il giorno successivo agli incontri al fine di ottimizzare l'analisi e l'interpretazione dei risultati (Walsham, 1995). Questo approccio ci ha consentito di migliorare il risultato finale e di integrare eventuali note o dettagli emersi durante le discussioni, garantendo una visione completa e approfondita del contesto.

2.4 Analisi dei dati

La prima fase di analisi dei dati ha coinvolto un'attenta lettura di ciascuna trascrizione delle interviste e delle relative note (fonti primarie) al fine di individuare questioni ed esperienze che potessero essere potenzialmente rilevanti (Patton, 2002). Questo step iniziale ha aiutato a prendere confidenza con i dati e ad organizzarli, strutturandoli in categorie (Easterby-Smith et al., 1991).

Successivamente, è stata realizzata una riduzione manuale dei dati identificando dei macro-temi, che rappresentavano l'aggregazione di temi simili che emergevano ripetutamente durante le interviste, integrando quest'ultimi con le note (Creswell, 2013, Saldaña, 2013, Walsham, 1995).

In seguito, sono stati assegnati a ciascun macro-tema dei sotto-argomenti, attribuendo loro codici identificativi attraverso un processo "ciclico e interpretativo" (Creswell, 2013, Saldaña, 2013). La matrice risultante, contenente macro-temi e sotto-argomenti identificati, è stata poi arricchita con i temi ritenuti rilevanti durante l'analisi delle fonti secondarie, creando, di fatto, un unico schema che ha incorporato l'analisi congiunta di entrambe le fonti di dati.

2.5 Validazione dei dati

Conformemente ai principi teorici delineati da Yin (2003), la qualità e la validità di qualsiasi caso studio possono essere valutate attraverso quattro test fondamentali: la validità del costrutto, la validità interna, la validità esterna e l'attendibilità (*reliability*). Questi criteri, come evidenziato da Yin (2003) e successivamente da Creswell (2014), dovrebbero essere applicati anche alla ricerca qualitativa al fine di garantire la credibilità del caso studio nel suo complesso.

Sulla base dei criteri di validazione definiti da Yin (2003), in Tabella 1 spieghiamo le strategie (tattiche) adottate per migliorare la credibilità e la validità del nostro studio.

Tipi di validazione (Yin, 2003)	Concetti chiave	Strategie di validazione adottare nella ricerca (tattiche)
Validità di costrutto	Paradigma teorico corrispondente all'osservazione (Kirk e Miller, 1986) e "misura operativa corretta per i concetti studiati" (Yin, 2003).	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizzare più fonti di dati e raccogliere informazioni da più partecipanti (Meyer, 2001). • Condividere la bozza del report con ricercatori esperti e partecipanti allo studio di caso (Yin, 2003). Tecniche riconosciute come "cicli di feedback" (Crabtree e Miller 1992).
Validità interna	Stabilire una relazione causale tra i concetti (solo per studi esplicativi e causali) (Meyer, 2001; Yin, 2003).	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizzare la triangolazione dei dati (Johnson, 1997, Merriam, 1998). • Documentare i processi di raccolta e analisi dei dati (Creswell, 2014). • Arricchire la relazione finale con note e appunti presi sul campo prima e/o dopo le interviste (Meyer, 2001).

Validità esterna	Costituisce il dominio in base al quale i risultati di uno studio possono essere generalizzati (Yin, 2003).	<ul style="list-style-type: none"> • Trattandosi di un caso studio singolo, il criterio di generalizzabilità non può essere supportato in questa ricerca (Yin, 2003).
Attendibilità (<i>reliability</i>)	Dimostrare che le operazioni eseguite nello studio possono essere ripetute dai ricercatori ottenendo lo stesso risultato (Yin, 2003).	<ul style="list-style-type: none"> • Definire l'approccio ontologico (Rashid et al., 2019). • Definire le procedure di selezione dei casi di studio, il protocollo di intervista, la raccolta e l'analisi dei dati (Benbasat et al., 1987; Yin, 2003).

Tabella 1 – Strategie utilizzate per validare il caso studio secondo la letteratura di riferimento

Fonte: elaborazione degli autori

3 Discussione dei risultati

3.1 Sfera Agricola s.r.l: storia di una PMI agroalimentare italiana

Sfera Agricola (SA), una PMI attiva nel settore agroalimentare italiano, è stata fondata nel 2015 a Gavorrano, Grosseto (Italia), con un chiaro obiettivo: integrare i principi della sostenibilità nella propria produzione agricola attraverso l'adozione della digitalizzazione. Grazie agli investimenti esterni in capitale di rischio, SA ha realizzato una serra idroponica a ciclo chiuso all'avanguardia, estesa su circa 13 ettari all'interno di un terreno di 22 ettari, divenendo un punto di riferimento nella produzione sostenibile e digitalizzata in Italia e nel Sud Europa.

Il progetto SA è nato in sintonia con l'emergere di iniziative istituzionali ed eventi dedicati alla promozione della sostenibilità nella produzione e nel consumo alimentare, come l'Expo 2015 con il tema "Nutrire il pianeta, energia per la vita". Questo contesto globale ha posto l'accento sull'importanza dell'educazione alimentare e sulle sfide legate alla scarsità di cibo in molte parti del mondo.

Guidato dalle raccomandazioni della FAO nel 2015, che hanno sottolineato l'imperativo di aumentare l'efficienza agricola in risposta alla crescita demografica mondiale e alle limitate risorse di terra e acqua, l'AD di SA ha formulato una domanda cruciale: «*È possibile sfruttare le tecnologie di gestione e le soluzioni digitali per migliorare la produttività agricola riducendo il consumo di risorse?*». Questo caso studio esplorerà come SA abbia affrontato questa sfida e implementato con successo una produzione agricola sostenibile e all'avanguardia.

3.2 Quadro contestuale: strategia sostenibile e concetto di resilienza in SA

Seguendo dunque le linee guida della FAO del 2015, alla base del

progetto di SA regnava la consapevolezza dell'urgente necessità di produrre cibo di alta qualità con un impiego ridotto di risorse, in risposta al significativo problema dell'aumento della popolazione mondiale e alla conseguente diminuzione delle risorse naturali, tra cui terra e acqua. Come dichiarato dall'AD di SA: «*Un altro elemento di valutazione è stato quello suggerito dalla FAO qualche anno fa: nel 2050 saremo il doppio della popolazione mondiale con la metà delle risorse. Bisognava fare qualcosa immediatamente e noi eravamo pronti a farlo*».

Sulla base di tali premesse, SA non è stata concepita come una semplice serra, ma come un concentrato di innovazione sia a livello di prodotto che di processo. Questo è stato possibile grazie all'applicazione delle più avanzate tecnologie digitali e delle migliori pratiche gestionali, in modo da soddisfare le esigenze di un settore in rapida trasformazione con profonde implicazioni economiche, sociali e ambientali.

L'AD di SA ha da subito compreso che il progetto non rappresentava semplicemente una tendenza passeggera, ma aveva un significato profondo. Esso rispondeva a una necessità concreta: contribuire a nutrire il pianeta Terra in un futuro in cui le risorse naturali saranno sempre più limitate.

Grazie all'implementazione di un processo produttivo digitalizzato e a ciclo chiuso SA è oggi in grado di coltivare diverse varietà di ortaggi di alta qualità. Questa selezione comprende cinque varietà di pomodori, denominati rispettivamente "Pomodoro Goloso", "Pomodoro Prezioso", "Datterino Irresistibile", "Pomodoro Delizioso" e "Pomodoro Superiore", due varietà di insalata, conosciute come "Insalata Croccante" e "Insalata Saporita", e una varietà di basilico denominato "Basilico Saporito".

3.2.1 La strategia sostenibile di SA

La strategia di sostenibilità di SA si basa su un approccio olistico che tiene conto di molteplici fattori. Le tecnologie digitali svolgono un ruolo cruciale nell'aumentare la produttività agricola, consentendo al contempo un utilizzo più efficiente delle risorse naturali. Questo approccio ha un impatto positivo su diversi aspetti, inclusi quelli economici, ambientali e sociali. Inoltre, SA si dedica all'attenzione dei consumatori, offrendo prodotti salutari e di alta qualità con caratteristiche uniche.

Come dichiarato dall'AD di SA: «*Il successo dell'azienda è attribuibile alla qualità eccezionale dei prodotti. I pomodori sono coltivati seguendo rigidi standard di sicurezza alimentare, garantendo che non contengano residui di pesticidi o metalli pesanti. Questo approccio tiene conto delle esigenze dei consumatori. Ad esempio, in Italia, cinque milioni di persone sono allergiche al nichel e non possono consumare pomodori. Abbiamo quindi deciso che il prodotto doveva rispondere alle esigenze del pianeta e dei consumatori. Pertanto, in SA adottiamo la lotta biologica, impiegando insetti benefici, muffe, funghi*

e batteri per combattere le infestazioni nocive. Così, per ogni insetto introdotto in serra, vengono rilasciati cinque predatori, contribuendo così alla salute e alla sicurezza dei pomodori coltivati».

Tutto ciò è reso possibile esclusivamente grazie a un sistema di coltivazione idroponica completamente digitalizzato, che ha la capacità di eludere gli impatti degli agenti atmosferici e di preservare l'integrità delle piante, coltivando varietà geneticamente incontaminate. Come affermato dall'AD: «*Gli shock esogeni, come i cambiamenti climatici e l'insorgere di nuove malattie, hanno alterato le caratteristiche fisiche e organolettiche dei prodotti che facciamo uso quotidiano. Oggi, la frutta deve resistere a malattie specifiche e a eventi atmosferici che 70 anni fa non erano nemmeno presi in considerazione».*

3.2.2 Il concetto di resilienza in SA

In SA, gli obiettivi di sostenibilità sono strettamente associati al concetto di resilienza. Questa visione aziendale si focalizza sulla capacità di sopravvivere ai cambiamenti e difendersi dalle sfide emergenti. Secondo l'AD di SA, opporsi ai continui mutamenti del mondo circostante non costituisce una strategia aziendale lungimirante. SA si definisce un'azienda resiliente poiché adotta un paradigma di produzione sostenibile che considera gli aspetti ambientali, sociali ed economici, permettendole di evitare e affrontare le problematiche legate al cambiamento climatico, alle epidemie e di garantire la sicurezza alimentare.

Come afferma il Manager della sostenibilità: «*La nostra produzione si basa sul paradigma 4.0, le tecnologie digitali ci consentono di soddisfare un bisogno primario in modo sostenibile. Eventi atmosferici estremi non rappresentano una minaccia per la nostra produzione, poiché questa avviene all'interno di serre altamente automatizzate. Questo ci permette di mantenere una produzione costante nel tempo, garantendo un approvvigionamento stabile nonostante gli impatti esterni. Per questi motivi, ci consideriamo un'azienda resiliente. In risposta alla preoccupante riduzione delle risorse idriche a livello globale, abbiamo sviluppato un processo produttivo a ciclo chiuso che recupera la maggior parte dell'acqua piovana».*

Nonostante la Grande Distribuzione Organizzata (GDO) rappresenti il principale cliente per i prodotti di SA, in particolare per il pomodoro, che costituisce circa il 75% della produzione totale nella regione toscana, l'azienda continua a mantenere un legame diretto con i consumatori finali, dimostrando un impegno a curare e coltivare questo rapporto.

3.3 Applicazione dei principi di sostenibilità: la coltivazione idroponica di SA

I prodotti di SA vengono coltivati in serre idroponiche altamente tecnologiche, sigillate ermeticamente e mantenute asettiche per evitare con-

taminazioni esterne. Queste serre creano condizioni di crescita ottimali per la produzione di pomodori, basilico e insalata. Un elemento distintivo del processo produttivo di SA è l'assenza di utilizzo di terreno per la coltivazione. Le piante crescono direttamente in acqua, arricchita con soluzioni nutrienti.

I nutrienti essenziali per la crescita delle piante vengono forniti attraverso un sistema di alta tecnologia che non richiede l'uso di pesticidi. I prodotti di SA sono privi di nichel e metalli pesanti, rendendoli adatti a persone con allergie e intolleranze. Inoltre, essi sono esenti da patogeni e parassiti che possono essere presenti nelle coltivazioni all'aperto. La tecnologia idroponica consente un controllo estremamente preciso della gestione dell'acqua e dei nutrienti, riducendo inoltre in modo significativo il consumo di acqua. Questo è reso possibile dal recupero e dal riutilizzo dell'acqua residua. Dopo l'irrigazione, l'acqua viene raccolta e reinserita in un sistema chiuso contenente vasche rivestite con materiali anti-alga. Queste vasche permettono la raccolta dell'acqua piovana, riducendo la necessità di utilizzare acqua da pozzi. La condensa e l'acqua di irrigazione passano attraverso un processo di filtraggio che include un filtro a sabbia e un filtro UV prima di essere nuovamente impiegate nell'irrigazione, creando così un sistema sostenibile di gestione dell'acqua. Questo approccio è motivato dalla consapevolezza che: *«La superficie terrestre destinata all'agricoltura ha raggiunto il limite massimo di espansione, pertanto è essenziale che la produzione diventi più intensiva e adattabile a varie condizioni ambientali, garantendo al contempo la sicurezza alimentare e la protezione della biodiversità»* (AD e personale operativo).

Il controllo del clima all'interno delle serre idroponiche di SA è estremamente sofisticato e digitalizzato. Utilizzando il riscaldamento digitale, è possibile prevenire le infezioni fungine come la peronospora, mentre il sistema di ventilazione combina metodi attivi e passivi tramite l'apertura automatica delle finestre. Per quanto riguarda l'approvvigionamento energetico, SA fa affidamento su un impianto fotovoltaico installato sul tetto della serra e su un sistema di riscaldamento alimentato da cippato ottenuto dai residui di potatura dei vigneti e degli oliveti locali. Grazie a questo approccio tecnologico, SA è in grado di produrre ortaggi utilizzando solo il 10% dell'acqua richiesta in un ambiente di coltivazione all'aperto e occupando solo il 10% del terreno. Nonostante questa riduzione delle risorse utilizzate, la resa ottenuta è 15 volte superiore, dimostrando così l'efficienza del loro sistema di coltivazione.

3.3.1 L'uso delle tecnologie digitali e l'infrastruttura del sistema informativo di SA

SA ha abbracciato la digitalizzazione in tutti gli aspetti del suo processo produttivo. L'infrastruttura digitale dell'azienda comprende due Si-

stemi Informativi (SI): uno dedicato all'amministrazione e alla contabilità e uno focalizzato sul processo produttivo. Concentreremo ora la nostra attenzione su quest'ultimo.

Il SI utilizzato da SA è progettato specificamente per gestire ed elaborare dati relativi al processo produttivo. Questo sistema integra hardware e software in modo altamente coordinato e sfrutta tecnologie di digitalizzazione 4.0, come sensori, centraline e termometri, per raccogliere dati direttamente dal campo. Il processo produttivo digitalizzato è attentamente supervisionato da esperti in tecnologie dell'informazione e della comunicazione (TIC) che utilizzano strumenti di business intelligence per acquisire dati attraverso circa 25 sensori posizionati all'interno della serra. Questi sensori monitorano e regolano una serie di variabili, tra cui temperatura, illuminazione, flusso d'aria, umidità, livelli di ossigeno e anidride carbonica, gestione dei nutrienti e ciclo di irrigazione, garantendo condizioni ottimali per la crescita delle piante durante tutto l'anno.

I dati raccolti in tempo reale da questi sensori rappresentano una panoramica completa di tutte le fasi critiche del processo di crescita delle piante. Questi dati vengono quindi elaborati da un sistema software dedicato, che restituisce informazioni utili alla direzione aziendale. Queste informazioni consentono al personale di prendere decisioni informate e, se necessario, di attuare azioni correttive per migliorare ulteriormente il processo produttivo. In questo modo, la digitalizzazione supporta attivamente l'azienda nel processo decisionale e nell'obiettivo di miglioramento continuo.

3.4 Sostenibilità e Digitalizzazione: effetti su fattori aziendali, dinamiche di mercato e forme di istituzionalizzazione

L'applicazione della sostenibilità in un processo produttivo altamente digitalizzato di una PMI influisce sui fattori aziendali (economici, ambientali e sociali), dinamiche di mercato, e su forme di istituzionalizzazione che l'impresa acquisisce nel contesto in cui opera.

– Effetti su fattori aziendali

Da un punto di vista economico, la riduzione degli scarti consente a SA di mantenere una struttura dei costi stabile nel tempo. Il prodotto di qualità, buono, sano, a zero residui, è certificato NICKEL-FREE (tra le altre certificazioni: FSC, Global Gap, UNI EN ISO 9001, IFS, BRC FOOD). SA si è posizionata strategicamente sul mercato offrendo prodotti di qualità e salubrità superiore, con un prezzo medio del 15-20% più alto rispetto ai concorrenti quando venduti nei punti vendita della GDO (escludendo campagne promozionali). Il mercato riconosce l'impegno di SA nel fornire prodotti eccezionali, contribuendo alla percezione favorevole del

marchio. Inoltre, le strategie commerciali lungimiranti dell'azienda hanno facilitato la creazione di un canale di distribuzione efficiente e redditizio, la GDO, che garantisce vendite costanti e ininterrotte.

La partnership simbiotica tra SA e GDO prospera grazie alla capacità di SA di soddisfare la notevole domanda di quantità di prodotti nei reparti dei supermercati e degli ipermercati. Ciò è reso possibile dall'implementazione di metodi di produzione digitalizzati, che consentono di stabilire accordi di vendita solidi e duraturi. Sfruttando la digitalizzazione, SA può applicare efficacemente protocolli di vendita coerenti, assicurando una collaborazione a lungo termine reciprocamente vantaggiosa con i rivenditori. Inoltre, SA ha esteso le sue partnership commerciali a punti vendita non convenzionali, come le farmacie, per prodotti come la passata di pomodoro. Questa diversificazione è dovuta principalmente alla reputazione del prodotto come elemento di promozione della salute che offre potenziali benefici nella gestione dei disturbi alimentari causati dal nichel.

Dal punto di vista ambientale, il processo produttivo digitalizzato a ciclo chiuso di SA riduce l'uso delle risorse idriche e l'impatto ambientale complessivo. L'acqua viene recuperata, filtrata e riutilizzata nel processo, mentre l'acqua piovana è raccolta per evitare il prelievo da pozzi. L'approccio alla digitalizzazione influisce anche sulla dimensione sociale di SA, contribuendo a sostituire attività lavorative che sarebbero troppo faticose per i dipendenti. Il valore sociale è dato dal fatto che l'intero processo produttivo non sostituisce il lavoro dei singoli, ma lo facilita.

– Effetti su dinamiche di mercato

Gli effetti della relazione tra sostenibilità e digitalizzazione sono evidenti nelle dinamiche che regolano il rapporto tra SA e il mercato di riferimento. Il successo di questa relazione è attribuito all'implementazione da parte di SA della coltivazione idroponica a ciclo chiuso, che garantisce una produzione ininterrotta per tutto l'anno per la GDO. Questo approccio mitiga le sfide poste da shock esogeni come i cambiamenti climatici e la comparsa di nuovi virus, in quanto la produzione in serra digitalizzata rimane resistente a eventi atmosferici gravi. Di conseguenza, SA mantiene una produzione costante, garantendo una catena di approvvigionamento affidabile e rispettando gli standard di *food security*. Date le frequenti interruzioni nella fornitura di frutta, verdura e ortaggi a causa di eventi meteorologici, garantire produzioni e consegne assicurate e affidabili è fondamentale per la GDO e per i consumatori. Inoltre, la SA dà priorità alla *food safety*, aderendo a rigorosi requisiti igienici. Di conseguenza, i consumatori finali ricevono costantemente prodotti sani, ricchi di sostanze nutritive e privi di metalli pesanti e agenti patogeni, indipendentemente dalle variazioni stagionali. L'impegno di SA nella produzione di pomodori a re-

siduo zero e senza nichel, uno dei maggiori in Italia, risponde alle reali esigenze dei consumatori, contribuendo a migliorare lo stile di vita.

– Effetti su forme di istituzionalizzazione

L'impegno di SA per la sostenibilità, facilitato dal suo impianto di produzione digitalizzato, posiziona l'azienda all'interno di un quadro istituzionale in cui assume un ruolo istituzionale allineando i suoi comportamenti alle convinzioni e alle norme della società. Questi comportamenti comprendono pratiche di produzione e consumo sostenibili, utilizzo responsabile delle risorse naturali, impegno in programmi di sensibilizzazione e partecipazione attiva a eventi di settore nazionali e internazionali. Il successo di SA ha consolidato la sua identità di azienda inserita in un contesto "istituzionale" plasmato da aspettative sociali e norme prescritte per un comportamento appropriato e legittimo.

All'interno di questo ecosistema, vari attori, tra cui i responsabili politici, la comunità scientifica, spin-off dell'innovazione guidati dalle università, le aziende con una mentalità etica e le associazioni di categoria, svolgono un ruolo fondamentale nell'interpretare i cambiamenti del contesto e nello stabilire le "regole del gioco". In Figura 1 mostriamo gli effetti prodotti dalla relazione tra sostenibilità e digitalizzazione in SA.

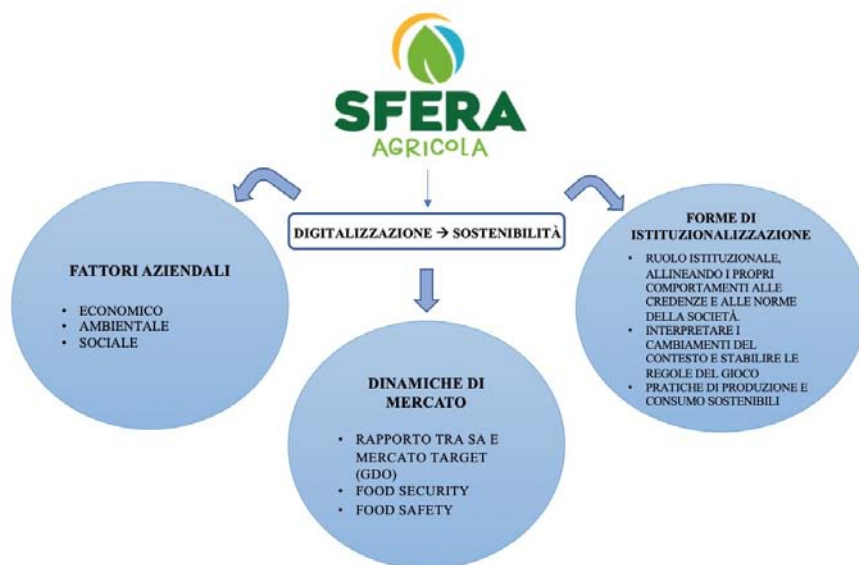


Figura 1 – Effetti della relazione tra sostenibilità e digitalizzazione in SA

Fonte: elaborazione degli autori

4 Conclusioni

Questo studio costituisce un contributo significativo all'avanzamento della nostra comprensione del rapporto tra digitalizzazione e sostenibilità nel contesto PMI, un campo di ricerca che negli ultimi anni ha acquisito crescente importanza (Dey et al., 2020). Al fine di esaminare in profondità le complesse dinamiche e gli impatti derivanti dall'interazione tra digitalizzazione e sostenibilità all'interno delle PMI, questo studio si avvale di un approccio interpretativo basato su un caso studio (Benbasat et al., 1987, Orlikowski e Baroudi, 1991, Yin, 2003). La nostra ricerca esamina dettagliatamente le evidenze e gli effetti risultanti dall'adozione di un modello di business altamente digitalizzato da parte di una PMI italiana che ha implementato con successo un sistema idroponico a ciclo chiuso, con un'attenzione particolare ai principi della sostenibilità.

I nostri risultati indicano che la digitalizzazione ha il potenziale per facilitare l'applicazione della sostenibilità ottimizzando il processo decisionale nelle PMI (Annosi et al., 2019). L'accesso a informazioni più precise, dettagliate e in tempo reale consente alla gestione aziendale di aumentare l'efficienza nel processo produttivo, riducendo così l'utilizzo delle risorse naturali, come la gestione dell'acqua, e minimizzando gli sprechi nelle fasi finali della produzione, come già evidenziato in precedenti ricerche (Jabbour et al., 2019; Nascimento et al., 2019). Inoltre, il nostro studio mette in luce che gli effetti della relazione tra digitalizzazione e sostenibilità vanno oltre il mero processo produttivo immediato. In particolare, abbiamo osservato che questa relazione genera effetti di ampia portata che coinvolgono vari aspetti aziendali, il mercato target e il processo di istituzionalizzazione dell'azienda.

Condividendo l'esperienza della SA, la nostra ricerca mira a fornire implicazioni teoriche e pratiche, in particolare per le PMI che operano nel settore agroalimentare italiano. Crediamo fermamente che il processo di transizione digitale e l'integrazione della sostenibilità nei modelli di business richiedano un cambiamento culturale fondamentale nella gestione aziendale, soprattutto nel contesto delle PMI (Iannone and Caruso, 2020). Riconosciamo altresì le sfide che molte PMI del settore agroalimentare italiano devono affrontare nel processo di rinnovamento organizzativo e tecnologico. La cultura imprenditoriale del settore, radicata in antiche tradizioni, può rappresentare un ostacolo nell'adottare le pratiche di digitalizzazione richieste dalla rivoluzione industriale 4.0 e dalle direttive delle principali istituzioni mondiali volte a promuovere lo sviluppo sostenibile (FAO, 2022, UN, 2015, Vrontis et al., 2016).

Per superare gli ostacoli posti dalla complessità strutturale del settore e dalla resistenza al cambiamento, diventa essenziale promuovere il dia-

logo tra i diversi attori della filiera agroalimentare (Annosi et al., 2020). La collaborazione e la cooperazione tra aziende, responsabili politici, ricercatori e altre parti interessate potrebbe essere utile a identificare obiettivi comuni e a sviluppare soluzioni collettive. Inoltre, l'innovazione tecnologica richiede anche l'accesso al capitale finanziario necessario per sviluppare processi ad alta tecnologia nel contesto delle PMI (Farace and Tarabella, 2023).

Ringraziamenti

Gli autori desiderano esprimere la loro gratitudine all'azienda Sfera Agricola s.r.l. per la preziosa collaborazione al caso studio. L'attiva partecipazione dell'Amministratore Delegato e dei collaboratori, unitamente alla loro disponibilità nel condividere dati e competenze nel campo agroalimentare, ha significativamente arricchito il nostro lavoro di ricerca.

Bibliografia

- ANNOSI, M.C., BRUNETTA, F., CAPO, F., HEIDEVELD, L. (2020). Digitalization in the agri-food industry: the relationship between technology and sustainable development. *Management Decision*, 58(8), 1737-1757.
- ANNOSI, M.C., BRUNETTA, F., MONTI, A., FRANCESCO, N. (2019). Is the trend your friend? An analysis of technology 4.0 investment decisions in agricultural SMEs. *Computers in Industry*, 109, 59-71.
- BENBASAT, I., GOLDSTEIN, D.K., MEAD, M. (1987). The case research strategy in studies of information systems. *MIS Quarterly*, 11(3), 369-386.
- CRAFTREE, B.F., MILLER, W.L. (1992). *Doing Qualitative Research*. Sage Publications.
- CRESWELL, J.W. (2013). *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches* (3rd ed.). Sage Publications.
- CRESWELL, J.W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). Sage Publications.
- EASTERBY-SMITH, M., THORPE, R., LOWE, A. (1991). *Management Research: An Introduction*. Sage Publications.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). (2015). *Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction*, Rome.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). (2017). *The future of food and agriculture—Trends and challenges*, Rome.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). (2021). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2021*, Rome.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). (2022). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022*, Rome.
- FARACE, B., TARABELLA, A. (2023). Exploring the role of digitalization as a driver for the adoption of circular economy principles in agrifood SMEs – an interpretive case study. *British Food Journal*, Ahead-of-print.
- FENNO, R. (2014). Observation, Context, and Sequence in the Study of Politics. *American Political Science Review*, 80(1), 3-15.
- IANNONE, B., & CARUSO, G. (2023). “Sustainab- lization”: sustainability and digitalization as a strategy for resilience in the coffee sector. *Sustainability*, 15(6), 1-32.

- JABBOUR, C.J.C., JABBOUR, D.S.A.B.L., SARKIS, J., FILHO, M.G. (2019). Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: an integrative framework and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 546-552.
- JOHNSON, R.B. (1997). Examining the validity structure of qualitative research. *Education*, 118(2), 282-292.
- KIRK, J., MILLER, M. (1986). *Reliability and Validity in Qualitative Research*. Sage Publications, Newbury Park.
- KLERKX, L., ROSE, D. (2020). Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: how do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?. *Global Food Security*, 24, 1-7.
- KLEWITZ, J., HANSEN, E.G. (2014). Sustainability-oriented innovation of SMEs: a systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 57-75.
- LONG, T.B., BLOK, V., CONINX, I. (2016). Barriers to the adoption and diffusion of technological innovations for climate-smart agriculture in Europe: evidence from the Netherlands, France, Switzerland and Italy. *Journal of Cleaner Production*, 122(1), 9-21.
- MERRIAM, S.B. (1998). *Qualitative Research And Case Study Applications In Education: Revised And Expanded From "Case Study Research In Education"*. Jossey-Bass, NJ.
- MEYER, C.B. (2001). A case in case study methodology. *Field Methods*, 13(4), 329-352.
- MIRANDA, J., PONCE, P., MOLINA, A., WRIGHT, P. (2019). Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0. *Computers in Industry*, 108, 21-36.
- MYERS, M.D. (2009). *Qualitative Research in Business and Management*. Sage, London, UK.
- NASCIMENTO, D.L.M., ALENCASTRO, V., QUELHAS, O.L.G., CAIADO, R.G.G., GARZA-REYES, J.A., ROCHA-LONA, L., TORTORELLA, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context. A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607-627.
- ORLIKOWSKI, W.J., BAROUDI, J.J. (1991). Studying information technology in organizations: research approaches and assumptions. *Information Systems Research*, 2(1), 1-28.
- PATTON, M.Q. (2002). *Qualitative Evaluation and Research Methods*. Sage Publications, Newbury Park.
- RASHID, Y., RASHID, A., WARRAICH, M.A., SABIR, S.S., WASEEM, A. (2019). Case study method: a step-by-step guide for business researchers. *International Journal of Qualitative Methods*, 18, 1-13.

- SALDANA, J. (2013). *The Coding Manual for Qualitative Researchers*. Sage Publications, London.
- SIVERTSSON, O., TELL, J. (2015). Barriers to business model innovation in Swedish agriculture. *Sustainability*, 7(2), 1957-1969.
- THRASSOU, A. (2016). Global agrifood management paradigms from the Italian industry. *British Food Journal* (Editorial), 118, doi: 10.1108/BFJ-05-2016-0225.
- TRENDOV, N.M., VARAS, S. & ZENG, M. (2019). *Digital technologies in agriculture and rural areas – Status report*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- TRIVELLI, L., APICELLA, A., CHIARELLO, F., RANA, R., FANTONI, G., TARABELLA, A. (2019). From precision agriculture to Industry 4.0: unveiling technological connections in the agrifood sector. *British Food Journal*, 121(8), 1730-1743.
- UNITED NATIONS (2015). *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdd>.
- UNITED NATIONS, DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION (2022). *World population prospects 2022*. Available at: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf.
- VRONTIS, D., BRESCIANI, S., GIACOSA, E. (2016). Tradition and innovation in Italian wine family businesses. *British Food Journal*, 118(8), 1883-1897.
- WALSHAM, G. (1995). Interpretive case studies in IS research: nature and method. *European Journal of Information Systems*, 4, 74-81.
- WALSHAM, G. (2006). Doing interpretive research. *European Journal of Information Systems*, 15(3), 320-330.
- WOLFERT, S., GE, L., VERDOUW, C., BOGAARDT, M.-J. (2017). Big data in smart farming – a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- YIN, R.K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods*. Sage Publications, Thousand Oaks, CA.
- ZHANG, A., VENKATESH, V.G., LIU, Y., WAN, M., QU, T., HUISINGH, D. (2019). Barriers to smart waste management for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, 240, 1-12.

L'economia circolare quale vettore della sostenibilità finanziaria: un'analisi empirica nel settore agroalimentare

Benedetta Esposito
Università degli Studi di Salerno
Daniela Sica
Università Telematica San Raffaele Roma
Stefania Supino
Università Telematica San Raffaele Roma
Ornella Malandrino
Università degli Studi di Salerno

ABSTRACT

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di esaminare se, e in quale misura, le politiche di economia circolare hanno un impatto sulla corporate financial performance. A tal fine, alla luce del paradigma delle 4R (riuso, riduzione, recupero e riciclo), sono stati selezionati e riclassificati gli *score* Environmental Social e Governance (ESG) e sviluppato un indicatore di misurazione della performance di economia circolare. La relazione tra la performance globale di economia circolare e la corporate financial performance è stata testata attraverso la costruzione di un modello di regressione multivariata su dati panel.

I risultati evidenziano una relazione positiva tra la performance di economia circolare e la performance finanziaria delle aziende agroalimentari esaminate, confermando un legame sempre più intenso tra la sostenibilità socio-ambientale e la sostenibilità economico-finanziaria.

Inoltre, i risultati della ricerca contribuiscono al già vivace e fertile dibattito scientifico in essere sul tema, delineando anche implicazioni pratiche per i legislatori e i manager della sostenibilità. Ciò al fine di imprimere maggiore slancio all'adozione di innovativi business model orientati alla circolarità.

PAROLE CHIAVE: transizione circolare, economia circolare, performance circolare, performance finanziaria, settore agroalimentare

1 Introduzione

La crescente necessità di sviluppare indicatori di performance dell'economia circolare (EC) per misurare i livelli di circolarità di prodotti, processi, imprese e filiere è stata recentemente sottolineata nella comuni-

cazione dell'Unione Europea "Una nuova strategia industriale per l'Europa" (COM 102, 2020) (Kirchherr et al., 2017).

La transizione da un modello di business lineare ad uno circolare richiede strumenti in grado di consentire alle aziende di "diagnosticare" lo status quo, evidenziarne le opportunità di circolarizzazione e stabilire obiettivi di miglioramento a breve, medio e lungo termine (Valls-Val et al., 2022; Sahoo et al., 2023).

Tuttavia, alcuni studiosi hanno evidenziato che la maggior parte degli strumenti attualmente disponibili per la misurazione delle performance di EC non offrono un quadro completo e comparabile, idoneo a valutare adeguatamente i livelli di circolarità delle imprese (Vinante et al., 2021). L'ampio ventaglio di definizioni e approcci alla EC esistenti in letteratura si è riverberata nello sviluppo una pletera di metriche, indicatori e metodologie (Korhonen et al., 2018; de Oliveira et al., 2023). Tale eterogeneità di dati e di metodologie ineludibilmente si riflette anche sulla comparabilità dei risultati delle analisi di misurazione della circolarità, fornendone una visione distorta e incompleta. Di recente, l'ente italiano di standardizzazione (UNI) ha pubblicato uno standard tecnico per la misurazione della circolarità – la specifica tecnica UNI/TS 11820:2022 "Misurazione della circolarità - Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni" – basata su indicatori comparabili e replicabili. Tale specifica tecnica rappresenta il primo tentativo a livello internazionale di fornire una metodologia standardizzata per la misurazione della circolarità, attraverso la definizione di criteri condivisi e stringenti. Ciò consente alle organizzazioni italiane assumere una posizione di first mover, grazie ad un proprio strumento nazionale che anticipa la definizione della norma internazionale ISO 59020, attualmente ancora in fase di elaborazione (Amicarelli & Bux, 2023).

Tuttavia, esso risulta ancora poco diffuso, a causa della complessità degli indicatori definiti, che richiedono il coinvolgimento di esperti EC con capability specifiche difficilmente reperibili (Coppola et al., 2023). Inoltre, la pubblicazione della Corporate Reporting Sustainability Directive (CSRD) e dello European Sustainability Reporting Standard (ESRS) E5 dal titolo "Uso delle risorse ed economia circolare" e la conseguente necessità per le aziende di valutare le pratiche e le performance EC, sta spingendo studiosi, consulenti e professionisti a indagare il tema della misurazione delle performance di EC e della valutazione dei livelli di circolarità delle imprese, dei prodotti/servizi e dei processi, adottando una prospettiva di più facile divulgazione. Ciò al fine di rispondere a una duplice esigenza: da un lato, misurare le prestazioni EC consente alle aziende di gestire l'efficace implementazione delle pratiche EC, individuando opportunità di miglioramento e possibili azioni correttive (Valls-Val et al., 2022; Roos Lindgreen

et al., 2021). Dall'altro lato, può supportare le aziende nella raccolta e diffusione di informazioni relative all'EC agli stakeholder, in relazione al commitment nello sviluppo sostenibile (Esposito et al., 2023a).

Da questa prospettiva, l'adozione crescente da parte delle imprese degli score ESG potrebbe rappresentare una potenziale soluzione per affrontare le sfide nella misurazione delle prestazioni di EC. Recentemente, alcuni studiosi hanno iniziato ad analizzare le connessioni tra le metriche di EC e gli score ESG, evidenziandone le forti interrelazioni (Babkin et al., 2023; Fatimah et al., 2023; Guarnieri & Lee-Davies, 2023; Marcon et al., 2023). In particolare, Babkin et al. (2023) hanno sviluppato un indicatore per misurare il livello di circolarità di un ecosistema industriale adottando score ESG per definire i flussi di risorse e i principali driver della transizione circolare. Allo stesso modo, Palea et al. (2023) hanno costruito uno score di EC basato sugli ESG e focalizzato sulle iniziative di riduzione dei rifiuti. Tuttavia, nessuno studio ha ancora utilizzato gli score ESG per misurare il livello di circolarità di una azienda, includendo nella valutazione tutte le dimensioni dell'EC, riconducibili al paradigma delle 4-R di riduzione, riutilizzo, recupero e riciclo, adottando una prospettiva aziendale.

In questo gap della letteratura si colloca il presente contributo, che mira a sviluppare un indice di performance di EC, basato sugli score ESG, attraverso un processo di selezione e riclassificazione degli score ESG secondo il paradigma delle 4-R, utile a misurare l'adozione delle pratiche di EC nell'organizzazione.

Alcuni ricercatori hanno evidenziato il ruolo fondamentale svolto dagli stakeholder nel processo di transizione verso la circolarità (Salvioni & Almicci, 2020; Baah et al., 2022).

Pertanto, per implementare efficacemente attività commerciali rigenerative, riparative e sostenibili, diventa cruciale e strategico adottare un approccio cooperativo e inclusivo tra le parti interessate.

Diversi studiosi hanno messo in luce che gli aspetti relazionali (ad es. cooperazione, coordinamento e collaborazione) dovrebbero ottimizzare e influenzare positivamente le prestazioni delle imprese (Flynn et al., 2001; Min et al., 2015; Autry & Griffis, 2008), al fine di creare valore in una prospettiva triple-bottom-line (economica, ambientale e sociale).

Nonostante sia un dibattito fertile, solo pochi contributi hanno indagato empiricamente gli impatti delle performance di EC sulle performance aziendali, concentrandosi principalmente su aspetti legati all'efficienza dell'uso delle risorse (Chen & Dagestani, 2023), alla brand reputation (Mazzucchelli et al., 2022), alla gestione della supply chain (Rodriguez-Gonzalez et al., 2022) e alla EC disclosure (Blasi et al., 2021). Solo un lavoro ha analizzato in modo esaustivo l'impatto delle strategie di EC sui principali indicatori di redditività aziendale (Palea et al., 2023). Tuttavia,

nessuno contributo ha indagato empiricamente il ruolo dello stakeholder engagement (SE) nel rapporto tra EC e performance aziendale.

Partendo da tale background, il presente lavoro affronta il dibattito in corso sul rapporto tra performance di EC e performance finanziaria (CFP), analizzando, altresì, il potenziale ruolo moderatore dello SE in questa relazione.

A tal fine, è stato selezionato un campione mondiale di aziende che operano nel settore agroalimentare, che rappresenta uno dei settori più intensamente impegnati nella transizione circolare, a causa della notevole quantità di impatti ambientali generati (Niero & Schmidt Riveira, 2018; Poponi et al., 2022; Sica et al., 2022).

Il lavoro utilizza due teorie ampiamente adottate nella letteratura aziendale sull'EC ovvero la Natural Resource-based View of the Firms (NRBV) e la Stakeholder Theory (ST), per formulare le seguenti ipotesi di ricerca: H1. Esiste una relazione positiva tra la performance di economia circolare e la performance finanziaria delle organizzazioni.

H2. Esiste una relazione positiva tra lo SE e la performance di economia circolare delle imprese.

H3. Lo SE modera positivamente il rapporto tra la performance di economia circolare e la performance finanziaria delle organizzazioni

Il lavoro presenta sinteticamente la metodologia adottata e i risultati di uno studio preliminare sulla misurazione della performance di economia circolare nel settore agroalimentare.

2 Metodologia

Il settore agroalimentare rappresenta uno dei settori trainanti dell'economia globale, con una previsione di crescita del 6,21% all'anno (Statista, 2023). Tuttavia, la crescente pressione sulla produzione alimentare, sulla sicurezza e sulla perdita di cibo lungo la filiera ha notevoli ripercussioni sulla sostenibilità del settore (Farace & Tarabella, 2023; Poponi et al., 2023). Tali problemi generano inevitabilmente impatti ambientali, contribuiscono alla perdita della biodiversità e al cambiamento climatico, determinano altresì un incremento della scarsità idrica, dell'inquinamento, nonché della produzione di gas a effetto serra (GHG) e emissioni tossiche (Brankatschk & Finkbeiner, 2014; Sica et al., 2022).

In tale contesto, le aziende agroalimentari hanno iniziato ad implementare pratiche di EC e modelli di business sostenibili per preservare le risorse e ridurre le esternalità negative dei tradizionali modelli di produzione e consumo lineari (Bocken et al., 2023). Considerando la spiccata propensione del settore ad implementare pratiche di EC, la presente ricerca

si concentra su un campione di aziende agroalimentari estratto dalla banca dati Thomson Reuters Refinitiv EIKON, composto da 114 aziende selezionate nel mese di giugno 2023.

2.1 Indice della performance di Economia circolare

In linea con precedenti studi che hanno sviluppato indici di performance di responsabilità sociale d'impresa e di sostenibilità (Castellani & Saka, 2010; Kolk & Pinkse, 2010), gli autori hanno costruito un indicatore di misurazione della performance di circolarità. In linea con Palea et al. (2023), è stato sviluppato un costrutto multidimensionale basato su indicatori ESG, al fine di inglobare tutte le attività svolte dalle aziende agroalimentari selezionate nel campo della EC.

In particolare, le informazioni disponibili nella banca dati Thomson Reuters Eikon sono state utilizzate per misurare le prestazioni di EC alla luce della definizione standardizzata di EC fornita dalla norma UNI/TS 11820. In seguito, è stato costruito un indice di CEP sulla base della somma non ponderata di diversi fattori ESG (Chen & Bouvain, 2009; Gallego Álvarez & Ortas, 2017; Kolk & Pinkse, 2010).

La tabella 1 mostra le 47 voci selezionate e classificate per sviluppare l'indice di CEP calcolato come segue:

$$CEP_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} X_{ij}}{N_{ij}}$$

Dove:

CEP_j rappresenta l'indice di performance dell'economia circolare

N_j rappresenta il numero di item selezionati per la costruzione dell'indicatore: 47

X_{ij} con un valore pari a "1" l'informazione era contenuta nel database e "0" nel caso contrario.

L'indice è stato sviluppato alla luce del paradigma di economia circolare basato sulle 4-R: Reduce-Reuse-Recycle-Recover (Kirchherr et al., 2017). Ogni fattore ESG che, secondo i ricercatori, fosse in grado di misurare una dimensione di EC è stato riclassificato alla luce delle 4-R (Esposito et al., 2023). Inoltre, è stata aggiunta una categoria generale legata alla EC al fine di selezionare i fattori ESG legati alla EC, ma che non avrebbero potuto essere classificate in una delle quattro dimensioni scelte come coding framework.

2.2 Modello empirico

Al fine di indagare l'impatto della performance dell'economia circolare (CEP) sulla performance finanziaria delle imprese (CFP) e verificare

in che misura lo SE (SE) impatti sulle CEP (H1 e H2), sono stati testati i seguenti modelli empirici:

$$(1) CFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 CEP_{it} + \beta_2 Size_{it} + \beta_3 Leverage_{it} + \beta_4 BoardSize_{it} + \beta_5 MarketValue_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$(2) CEP_{it} = \beta_0 + \beta_1 SE_{it} + \beta_2 Size_{it} + \beta_3 Leverage_{it} + \beta_4 BoardSize_{it} + \beta_5 MarketValue_{it} + \varepsilon_{it}$$

Dove:

CEP = rappresenta la Circular Economy Performance

CFP = rappresenta la Corporate Financial Performance

SE = rappresenta lo stakeholder engagement

Size = Rappresenta le dimensioni dell'azienda

Leverage = Rappresenta il rapporto tra debiti totali e attività totali

BoardSize = Rappresenta il numero del consiglio di amministrazione

zione

MarketValue = Rappresenta il valore attuale dei flussi finanziari netti futuri attesi dall'impresa

Infine, per testare l'effetto di moderazione SE sul rapporto tra CEP e CFP (H3), in linea con Baron and Kenny (1986), è stata sviluppata la seguente equazione:

$$(3) CFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 CEP_{it} + \beta_2 SE_{it} + \beta_3 (SE * CEP)_{it} + \beta_4 Size_{it} + \beta_5 Leverage_{it} + \beta_6 BoardSize_{it} + \beta_7 MarketValue_{it} + \varepsilon_{it}$$

È stata effettuata un'analisi panel ad effetti fissi su 114 unità su 8 anni per un totale di 912 osservazioni.

3 Risultati

I risultati dell'analisi di regressione multivariata confermano la relazione ipotizzata tra la CEP e la CFP.

I risultati del primo modello, che mira a valutare se la CEP possa avere un impatto positivo sulla CFP delle imprese agroalimentari mostrano valori positivi e significativi (CEP: 0.07215, p-value: 0.00307), confermando la nostra prima ipotesi di ricerca (H1). Questo risultato è in linea con gli studi precedenti che hanno analizzato il rapporto tra l'EC e le prestazioni aziendali (Blasi et al., 2021). Inoltre, la SE mostra una relazione positiva e significativa (SE: 0.834264, p-value: 0.00233). Le variabili di controllo mostrano risultati misti. BoardSize e Size non sono statisticamente significativi, mentre il valore di mercato e il leverage hanno una relazione positiva e si-

gnificativa. Inoltre, è stata confermata la seconda ipotesi di ricerca (H2). Infatti, il modello 2 evidenzia valori abbastanza positivi e significativi. Di conseguenza, lo SE mostra un debole rapporto con la CEP. Le variabili di controllo sono tutte statisticamente non significative, ad eccezione del valore di mercato (0,0125, p-value: 0,0321), suggerendo che il mercato azionario percepisce le strategie di CE come un'opportunità di crescita (Palea et al., 2023). Questi risultati si allineano con le intuizioni teoriche fornite da Salvioni & Almicci (2020) e Bertassini et al. (2021), che hanno evidenziato, da una prospettiva concettuale, l'importanza degli stakeholder nel raggiungimento della transizione circolare. Inoltre, a differenza di Palea et al. (2023), che hanno trovato un coefficiente negativo e significativo per la variabile Leverage, i nostri risultati mostrano valori positivi e significativi nei modelli 1 e 3 e un coefficiente non significativo nel modello 2.

I risultati di Marcon et al. (2023) sono maggiormente corroborati dal terzo modello (H3) testato. I nostri risultati mostrano che, lo SE modera positivamente il rapporto tra CEP e CFP. Più nel dettaglio, il rapporto tra CEP e CFP (0,00321, valore p: 0,07123) e l'impatto della SE sulla CFP (0,23122, valore p: 0,05221) sono positivi e significativi.

Infine, l'interazione tra lo SE e la CFP, che rappresenta il coefficiente di moderazione, risulta positiva e significativa (0,5321, p-value: 0,04321).

4 Discussioni e conclusioni

I nostri risultati potrebbero essere interpretati alla luce della NRBV e della ST, che hanno permesso agli autori di spiegare il rapporto testato tra la CEP e la CFP e il ruolo moderatore svolto dallo SE. In linea con Mazzucchelli et al. (2022), le aziende agroalimentari con elevate performance di EC possono rafforzare la loro posizione competitiva in risposta alle crescenti aspettative degli stakeholder. Da un'altra prospettiva, in linea con Moric et al. (2022), lo SE è cruciale per migliorare la CEP del settore agroalimentare. Di conseguenza, il miglioramento del vantaggio competitivo si riflette in una maggiore performance finanziaria complessiva, come dimostrano i nostri risultati (Palea et al., 2023).

Infatti, alla luce del NRBV, l'implementazione della EC deve integrare le prospettive dei principali stakeholder, sia esterni che interni, nel processo decisionale orientato verso il paradigma delle 4-R. In effetti, il vantaggio competitivo derivante dalla gestione sostenibile delle risorse e dei materiali attraverso pratiche di riduzione, riutilizzo, riciclaggio e recupero, richiede una forte cooperazione tra le parti interessate, che potrebbe comportare anche un miglioramento della reputazione aziendale

e, di conseguenza, una migliore performance finanziaria per le aziende agroalimentari.

La transizione verso un modello di EC richiede, tuttavia, significativi cambiamenti culturali e strutturali, attraverso una

profonda revisione e innovazione degli attuali modelli di produzione, distribuzione, consumo che devono transitare verso nuovi modelli di business e creare nuove opportunità di lavoro. I risultati del lavoro dimostrano che questo cambiamento di paradigma potrebbe essere favorito dai benefici economici riconducibili all'implementazione dei modelli di EC. Di conseguenza, le aziende agroalimentari sono spinte a adottare le pratiche riuso, riduzione, recupero e riciclo anche al fine di rispondere al crescente impegno degli stakeholder verso la sostenibilità. Tuttavia, il loro ruolo deve essere proattivo e devono essere coinvolti nel percorso di transizione, al fine promuovere una maggiore interconnessione tra l'EC e le prestazioni aziendali.

La transizione verso un sistema agroalimentare più circolare non solo contribuisce alla protezione dell'ambiente e della biodiversità (in linea con la Strategia UE sulla biodiversità per il 2030) ma crea anche nuove opportunità commerciali che possono avere un impatto positivo sui redditi degli operatori del settore. Negli ultimi anni, è rilevabile un crescente interesse per l'adozione delle iniziative di economia circolare nel settore agroalimentare, anche se l'argomento rimane oggetto di dibattito tra gli studiosi (Esposito et al., 2023). La corretta gestione delle risorse e la riduzione delle perdite e degli sprechi alimentari sono argomenti centrali, non solo allo scopo di ridurre la pressione ambientale ma anche per il vantaggio economico (conservazione del valore) e sociale (opportunità di lavoro e empowerment) che esse generano (Aznar-Sánchez et al., 2020).

Il presente lavoro rappresenta la prima ricerca che ha adottato un theoretical framework basato sulla NRBV e la ST, evidenziandone le interrelazioni e la complementarità. Inoltre, dimostra che l'implementazione di pratiche e strategie di EC possono generare un vantaggio competitivo, in termini di redditività economica ed efficienza. In effetti, le imprese con una CEP più elevata hanno mostrato migliori performance finanziarie. Pertanto, i risultati del presente lavoro incoraggiano le aziende agroalimentari ad adottare iniziative di EC nella gestione delle risorse naturali ed energetiche, allo scopo di soddisfare le aspettative degli stakeholder, assicurare la compliance con la normativa e conseguire migliori performance economiche. Infine, questo è il primo studio che ha empiricamente testato l'impatto dello SE sulla CEP e il suo ruolo di moderazione nel rapporto tra CEP e CFP. I risultati mostrano la centralità dello SE nell'attivazione di un meccanismo virtuoso di co-creazione di valore per conseguire un vantaggio competitivo sostenibile. In particolare, le aziende agroalimentari devono coinvolgere

tutti gli stakeholder della filiera adottando una prospettiva “farm to fork”, considerando l'intero ciclo di vita degli alimenti e i relativi impatti. Infatti, uno SE efficace consentirebbe alle aziende agroalimentari di adottare più facilmente i principi di EC e, di conseguenza, l'intero ecosistema agroalimentare potrebbe cogliere i benefici legati a una transizione circolare, dalla quale discendono anche migliori performance finanziarie e operative.

Il presente studio suggerisce anche implicazioni per gli accademici, che potrebbero utilizzarne i risultati per stimolare il dibattito sulla transizione circolare. In particolare, gli studiosi potrebbero adottare il quadro teorico sviluppato per spiegare l'adozione delle pratiche di EC da molteplici prospettive. Future ricerche potrebbero adottare l'indice di CEP, al fine di testare la relazione tra CEP e CFP in settori differenti. Infine, questo indice potrebbe essere utilizzato anche per esplorare ulteriori interconnessioni tra altre variabili economiche, finanziarie, socio-ambientali e di governance, attraverso l'adozione di analisi multivariate.

References

- AMICARELLI, V., & BUX, C. (2023). Users' Perception of the Circular Economy Monitoring Indicators as Proposed by the UNI/TS 11820: 2022: Evidence from an Exploratory Survey. *Environments*, 10(4), 1-16. <https://doi.org/10.3390/environments10040065>
- ANTIKAINEN, M., & VALKOKARI, K. (2016). A framework for sustainable circular business model innovation. *Technology Innovation Management Review*, 6(7), 1-8.
- AZNAR-SÁNCHEZ, J.A., MENDOZA, J.M.F., INGRAO, C., FAILLA, S., BEZAMA, A., NEMECEK, T., & GALLEGU-SCHMID, A. (2020). Indicators for circular economy in the agri-food sector. *Resource Conservation and Recycling*, 163, 105028.
- AUTRY, C.W., & GRIFFIS, S.E. (2008). Supply chain capital: the impact of structural and relational linkages on firm execution and innovation. *Journal of business logistics*, 29(1), 157-173.
- BAAH, C., AFUM, E., AGYABENG-MENSAH, Y., & AGYEMAN, D.O. (2022). Stakeholder influence on adoption of circular economy principles: measuring implications for satisfaction and green legitimacy. *Circular Economy and Sustainability*, 1, 1-21.
- BABKIN, A., SHKARUPETA, E., TASHENOVA, L., MALEVSKAIA-MALEVICH, E., & SHCHEGOLEVA, T. (2023). Framework for assessing the sustainability of ESG performance in industrial cluster ecosystems in a circular economy. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(2), 100071.
- BARON, R.M. AND KENNY, D.A. (1986), "The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations", *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 51 No. 6, pp. 1173-1182.
- BERTASSINI, A.C., OMETTO, A.R., SEVERENGIZ, S., & GEROLAMO, M.C. (2021). Circular economy and sustainability: The role of organisational behaviour in the transition journey. *Business Strategy and the Environment*, 30(7), 3160-3193.
- BOCKEN, N., PINKSE, J., DARNALL, N., & RITALA, P. (2023). Between Circular Paralysis and Utopia: Organisational Transformations towards the Circular Economy. *Organization & Environment*, 10860266221148298.
- BLASI, S., CRISAFULLI, B., & SEDITA, S.R. (2021). Selling circularity: Understanding the relationship between circularity promotion and the performance of manufacturing SMEs in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 303, 1-9.

- BRANKATSCHK, G., & FINKBEINER, M. (2014). Application of the Cereal Unit in a new allocation procedure for agricultural life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production*, 73, 72-79.
- CHEN, S., & BOUVAIN, P. (2009). Is corporate responsibility converging? A comparison of corporate responsibility reporting in the USA, UK, Australia, and Germany. *Journal of business ethics*, 87, 299-317.
- CASTELLANI, V., & SALA, S. (2010). Sustainable performance index for tourism policy development. *Tourism management*, 31(6), 871-880. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2009.10.001>
- COPPOLA, C., VOLLERO, A., & SIANO, A. (2023). Developing dynamic capabilities for the circular economy in the textile and clothing industry in Italy: A natural-resource-based view. *Business Strategy and the Environment*, 1, 1-23. <https://doi.org/10.1002/bse.3394>
- DE ANGELIS, R. (2018). *Business models in the circular economy: Concepts, examples and theory*. Springer.
- DE ANGELIS, R. (2022). Circular economy business models: A repertoire of theoretical relationships and a research agenda. *Circular Economy and Sustainability*, 2(2), 433-446.
- DE OLIVEIRA, C.T., & OLIVEIRA, G.G.A. (2023). What Circular economy indicators really measure? An overview of circular economy principles and sustainable development goals. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 1-9.
- ESPOSITO, B., SESSA, M.R., SICA, D., & MALANDRINO, O. (2020). Towards circular economy in the agri-food sector. A systematic literature review. *Sustainability*, 12(18), 7401.
- ESPOSITO, B., RAIMO, N., MALANDRINO, O., & VITOLLA, F. (2023a). Circular economy disclosure and integrated reporting: The role of corporate governance mechanisms. *Business Strategy and the Environment*, 1, 1-17. <https://doi.org/10.1002/bse.3427>
- ESPOSITO, B., SICA, D., MALANDRINO, O., & SUPINO, S. (2023b). Social media on the route to circular economy transition from a dialogic perspective: evidence from the agri-food industry. *British Food Journal*. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2022-0974>
- FATIMAH, Y. A., KANNAN, D., GOVINDAN, K., & HASIBUAN, Z.A. (2023). Circular economy e-business model portfolio development for e-business applications: Impacts on ESG and sustainability performance. *Journal of Cleaner Production*, 415, 1-13.
- FARACE, B., & TARABELLA, A. (2023). Exploring the role of digitalisation as a driver for the adoption of circular economy principles in agri-food SMEs—an interpretive case study. *British Food Journal*. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2022-1103>

- FLYNN, A., HACKING, N., & XIE, L. (2019). Governance of the circular economy: A comparative examination of the use of standards by China and the United Kingdom. *Environmental innovation and societal transitions*, 33, 282-300.
- GUARNIERI, L., & LEE-DAVIES, L. (2023). Normalising and Standardizing Circular Economy and ESG Practice with Recommendations. In *Sustainable Economics for the Anthropocene: The Economic Scale of Global Boundaries (ESGB) Model* (pp. 183-200). Cham: Springer Nature Switzerland.
- HART, S.L. (1995). A natural-resource-based view of the firm. *Academy of management review*, 20(4), 986-1014.
- KIRCHHERR, J., REIKE, D., & HEKKERT, M. (2017). Conceptualising the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232.
- KOLK, A., & PINKSE, J. (2010). The integration of corporate governance in corporate social responsibility disclosures. *Corporate social responsibility and environmental management*, 17(1), 15-26.
- KORHONEN, J., NUUR, C., FELDMANN, A., & BIRKIE, S.E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of cleaner production*, 175, 544-552.
- MARCON, M., PROVENSÌ, T., SEHNEM, S., CAMPOS, L.M., & QUEIROZ, A.A. (2023). The internalisation of the circular economy and ESG in Brazilian B Corps from the perspective of the Stakeholder Theory. *Sustainable Development*, 1, 1-15.
- MAZZUCCHELLI, A., CHERICI, R., DEL GIUDICE, M., & BUA, I. (2022). Do circular economy practices affect corporate performance? Evidence from Italian large-sized manufacturing firms. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 29(6), 2016-2029.
- MERLI, R., PREZIOSI, M., & ACAMPORA, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of cleaner production*, 178, 703-722.
- MORIC, I., JOVANOVIĆ, J.Š., ĐOKOVIĆ, R., PEKOVIĆ, S., & PEROVIĆ, Đ. (2020). The effect of phases of the adoption of the circular economy on firm performance: Evidence from 28 EU countries. *Sustainability*, 12(6), 1-12.
- NIERO, M., & RIVERA, X.C.S. (2018). The role of life cycle sustainability assessment in the implementation of circular economy principles in organisations. *Procedia CIRP*, 69, 793-798.
- PALEA, V., SANTHÌA, C., & MIAZZA, A. (2023). Are circular economy strategies economically successful? Evidence from a longitudinal panel. *Journal of Environmental Management*, 337, 1-12.

- POPONI, S., ARCESE, G., RUGGIERI, A., & PACCHERA, F. (2022). Value optimisation for the agri-food sector: A circular economy approach. *Business Strategy and the Environment*, 1, 1-18
<https://doi.org/10.1002/bse.3274>
- RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, R.M., MALDONADO-GUZMAN, G., MADRID-GUIJARRO, A., & GARZA-REYES, J.A. (2022). Does circular economy affect financial performance? The mediating role of sustainable supply chain management in the automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, 379, 1-8.
- ROOS LINDGREEN, E., MONDELLO, G., SALOMONE, R., LANUZZA, F., & SAIJA, G. (2021). Exploring the effectiveness of grey literature indicators and life cycle assessment in assessing circular economy at the micro level: a comparative analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 2171-2191.
- SALVIONI, D.M., & ALMICI, A. (2020). Transitioning toward a circular economy: The impact of stakeholder engagement on sustainability culture. *Sustainability*, 12(20), 8641.
- SICA, D., ESPOSITO, B., MALANDRINO, O., & SUPINO, S. (2022). The role of digital technologies for the LCA empowerment towards circular economy goals: a scenario analysis for the agri-food system. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1-24.
- SALVIONI, D.M., & ALMICI, A. (2020). Transitioning toward a circular economy: The impact of stakeholder engagement on sustainability culture. *Sustainability*, 12(20), 8641.
- SCANDURRA, F., SALOMONE, R., CAEIRO, S., & GULOTTA, T.M. (2023). The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: A systematic literature review. *Environmental Impact Assessment Review*, 100, 107079.
- VALLS-VAL, K., IBÁÑEZ-FORÉS, V., & BOVEA, M.D. (2022). How can organisations measure their level of circularity? A review of available tools. *Journal of Cleaner Production*, 354, 131679.
- VINANTE, C., SACCO, P., ORZES, G., & BORGIANNI, Y. (2021). Circular economy metrics: Literature review and company-level classification framework. *Journal of cleaner production*, 288, 1-17.

The impact of precision agriculture ecosystems on farming sustainability: an empirical analysis of Italian winemakers

Marco Savastano
Sapienza University of Rome

ABSTRACT

As advanced information systems and Internet technologies are adopted through precision agriculture practices, enormous amounts of farming data, such as meteorological information, soil conditions, marketing demands, and land uses, can be collected, analysed, and processed for assisting farmers in making sustainable decisions and obtaining higher profits. Therefore, since agricultural decision support systems for smart farming and related advanced services have become a very attractive topic for the research community, the purpose of this work is to evaluate how the overall sustainability and productivity of wine cultivations could improve by using precision agriculture tools in place of conventional ones. This can be facilitated through a smart farming ecosystem enhanced by innovative platform service providers which enables the actors involved in reaching higher sustainability outputs. To achieve the research objectives, a mixed methods approach for a cost-benefit analysis was applied. In the first phase, the analysis of quantitative secondary data was implemented to obtain a better understanding of the benefits of precision agriculture services on agribusinesses. Based on this evidence, a multiple case study based on in-depth semi-structured interviews was carried out with Italian SMEs operating in the wine industry, organic or in transition towards organic to make a comparison. The results clearly demonstrate how precision agriculture services can lead the different actors involved to achieve superior sustainable outputs in terms of environmental impacts reduction (less fertilization and treatments), higher productivity connected to lower costs, higher products quality and better working conditions, providing agribusinesses with potential competitive advantage and consumers with higher value propositions.

KEYWORDS: Precision Agriculture; Smart Farming; SMEs; Decision Support Systems; Sustainability; Cost-benefit analysis

1 Introduction

In the coming decades, the agri-food sector is expected to face several challenges based on some potentially risky global trends (De Clercq et

al., 2018). The world population is estimated to reach approximately ten billion by 2050. The growing number of people on the planet corresponds to greater demand and, in turn, increased food production. According to the UN Food and Agriculture Organization (FAO), this means that the agrifood sector and businesses will have to increase the production of 70% by 2050, and the products to be aligned with the different needs of a growing urban population, changing the entire agriculture value chain while increasing its sustainability (Zhai et al., 2020). The use of natural resources, including farmlands and water, is often highly unsustainable. The practices of deforestation, inadequate fallow periods, overuse of water resources, vegetation overcutting and fast urbanization, among others, reduce the efficiency and effectiveness of agriculture (Udias et al., 2018).

A meta-analysis of 1090 studies on yields under different conditions indicates that climate change may significantly reduce yields in the long run (Porter et al., 2014). Outlining environmentally sustainable solutions for agricultural development plays a central role, therefore, in mitigating climate change (FAO, 2017). In addition to these elements, the growing percentage of food waste represents a massive market inefficiency as well as another environmental threat.

On an economic level, the agriculture sector contributed to 4% of the world's Gross Domestic Product (GDP) in 2018, according to World Bank data¹. There is a critical need to increase the rate of innovation success in agriculture, to address the so-called wicked problems plaguing agriculture associated with climate change and sustainability, as well as to match expectations in terms of adoption and value creation. Yet the need to innovate is more urgent than ever before. While every economic sector has this need, few are more pressing than agriculture, as it provides, every single day, food, feedstuff, and fibres to humankind (Campos, 2021). Technological innovation, namely the introduction of a new device, method, or material for application to commercial or practical objectives, consists of a function of entrepreneurial activity, in which new combinations of existing resources occur in a particular sector (Schumpeter 1934). Therefore, digital transformation in such a traditional sector is known as Smart Farming or Agriculture 4.0. These new paradigms are based on the application of technological innovations such as Internet of things (IoT), artificial intelligence (AI), smart autonomous robotics, Decision Support Systems (DSS) and blockchain applications, which would represent both a boost for the entrepreneurship and local businesses and an important driver of sustainability for the optimization of processes and products (Javaid, 2022). At the EU level, The European Green Deal supports digitalization for sustainable

¹ <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/overview>

growth and ecological transition. The member states are therefore incentivized to invest in technological innovation applied to agriculture activities, aiming at increasing the sustainability and competitiveness of the sector, while enhancing the conditions of farmers and making their decision process easier (Savastano et al., 2022a). In line with the objectives of the European Green Deal, this paradigm shift is also crucial to achieve the objectives set by the new common agricultural policy (CAP) 2023-2027, designed for a fairer, greener and more performance-based agriculture.

One of the main instruments introduced by this policy to achieve the set goals is the so-called “Farm to Fork” strategy, which deals with the improvement of all stages of food production with the aim of avoiding waste, trying to promote a conscious and sustainable consumption as well as efficient processes of production and distribution for a safer food chain.

Given this context, the present study aims to evaluate the sustainability gains in terms of reduction of fertilizers and treatments and, consequently, climate-altering emissions, as well as the relative costs. At the same time, given the expected increase in product quality, this will translate into higher profits for the businesses.

Therefore, the guiding research question of this study is as follows:

RQ: what are the benefits for agribusinesses deriving from the application of precision farming practices?

The paper is structured as follows: section two presents a brief literature review focusing on the precision agriculture ecosystem as well as on the specific industry of applications. Next, section three provides the research design and methodology used in this study. Section four details the main results, discussion, and implications of the study. In section five conclusion, limitations and future research paths are outlined.

2 Literature Review

2.1 Precision Agriculture Ecosystem

The EU strategy to mitigate the environmental impact of the agri-food chain arises different goals to be achieved by 2030, such as the 50% reduction of pesticides and plant protection products dangerous for the environment, the reduction of fertilizers and, consequently, of climate-altering emissions; the reduction in the use of antibiotics in animal breeding and the promotion of organic agriculture. Indeed, one of the main goals in this field is to reach at least 25% of lands cultivated organically (Silva et al., 2022).

Thus, to reach these goals, the agricultural sector is experiencing a

digital revolution following the pathway started by the manufacturing sector with the Industry 4.0 paradigm, through the development of precision agriculture ecosystems, based on the adoption of 4.0 in-field and satellite technologies for the provision of support services to optimize agriculture processes through technology and data-driven platform businesses. (Ben Ayed et al., 2021; Trivelli et al., 2019).

Precision farming was defined by the EU Commission as a management approach that focuses on near real-time observation, measurement, and responses to variability in crops, fields and animals. Empirical studies in Mediterranean countries such as Italy and Greece recently demonstrated the advantages for farmers deriving from the use of DSS services provided by digital service platforms to monitor olive (Alexandridis, 2017; Gkisakis et al., 2020; Savastano et al., 2022a; Zaza et al., 2018) and vineyards (Caffi et al., 2012; Maddalena et al., 2023; Donna et al. in 2011) pathogens using satellite images and on-field sensors, which can be applied also to other south Mediterranean and African countries (Amusan and Oyewole, 2022). For instance, the use of big data analytics and algorithms dedicated to the detection of infections for the prevention of pathogen attacks is spreading fast and to date there are numerous services both for commercial and research purposes dedicated to the development of these solutions (Caffi et al., 2012; Pertot et al., 2017; Chen et al 2019; Maddalena et al., 2023).

Such a traditional sector needs complex agricultural ecosystems that can support farmers and SMEs with poor resources and organizational rigidity through the availability of hardware and software, specific knowledge, techniques and methods, innovative tools in the form of smart services based on big data analytics applied to the agricultural processes, need to be better understood and spread over different regions (Faure et al., 2018; Kamilaris et al., 2017). Furthermore, the beneficial effect of green agricultural practices connected to innovative practices focusing on the development of local entrepreneurship in developing country was recently investigated in some conceptual studies (Savastano et al., 2022b; Samo et al., 2023). However, despite the international relevance both at institutional, social and business levels, given the early development stage of a wide application of such innovative solutions in the agrifood context, the academic literature on this topic is still scarce (Nazzaro et al., 2022).

2.2 Applications in the wine sector

The use of algorithms dedicated to the calculation of infections for the prevention of pathogen attacks in the vineyard is spreading fast and to date there are numerous services both for commercial and for research purposes dedicated to the development of these solutions (Caffi et al., 2012; Pertot et al., 2017; Chen et al 2019; Maddalena et al., 2013). The study of

Donna et al. (2011), analysed the use of satellite images to allow the creation of vigour maps of crops, and reduce the use of fertilisers in the field. IoT (Internet of Things) enables the development of innovative pathogen-monitoring systems in the field (Spachos, 2020). For instance, recently Savastano et al. (2022a) studied the advantages for farming firms deriving from the use of DSS services provided by a platform company to support farmers in monitoring olive, grapevine, almond and vegetation pathogens using satellite images and on-field sensors.

3 Methodology

For the purpose of this study, an initial literature analysis was conducted to gain a detailed overview of the technological advancements in the wine industry, with a specific focus on understanding what motivates a wine producer to adopt innovative solutions and the associated benefits in terms of sustainability for the company.

As a first phase, to get an overview of the production costs of an organic vineyard and being able to make a reliable comparison with our evidence, we considered and triangulated several sources of secondary data. For instance, the study of (Borsato et al., 2020) compares the management costs of organic and conventional vineyards. This study was conducted in Lake Garda and compared the costs of the two management systems over a period of 4 years, from 2014 to 2018 and considered individual vineyard plots, each measuring 1.5 hectares. Therefore, in terms of company size and crop type, the study results are consistent for a comparative analysis with primary data collected on field. Furthermore, the aforementioned study was also used as a starting point for calculating costs per hectare for conducting phytosanitary treatments.

As the second phase of the study, in-depth interviews were conducted based on a semi-structured interview protocol informed by both the literature and the technical feedback from the service provider platform company described below. Those interviews were carried out with companies in the wine industry, particularly those utilizing decision support systems (DSS) provided by an innovative Italian company, Elaisian. The company is a service platform using DSS based on an IoT system where hardware, climate sensors embedded in weather stations and multispectral satellite sensors, collect data that are sent to the calculation software. Through a system of automated proprietary algorithms, the raw data is processed and provided in form of information to the end user via an easy-to-read web and mobile apps. With the climatic data, pathogen infection thresholds are calculated, which can be read in the app as notifications, if

of low severity, or alerts for infections above the threshold; with the satellite data, indices are calculated to create specific maps and reports for vegetative and water monitoring of crops.

To achieve the research objectives, a cost-benefit analysis concerning different sustainability aspects was carried out based on the data collected through the in-depth interviews with the agribusinesses of our sample and compared with secondary data retrieved from the literature.

The companies that were selected for participating in the interviews were all organic and ranged in size from 2 to 10 hectares.

4 Results and Discussion

4.1 Sample characteristics

As a result of the interviews, the five companies investigated were between 2 and 15 hectares; thus, they can be categorised as small to medium-sized agribusinesses. Sixty percent of the firms surveyed were under organic farming, while the remaining forty percent were in conversion from conventional to organic farming. The vineyards were located in central and southern Italy. The planting layout of most of the vineyards was traditional, with only one vineyard having an intensive planting layout. In terms of number of employees, the companies ranged from a minimum of 4 employees to a maximum of 40, remaining all in the SME category. The average annual turnover of the sample companies was 160.000 €, with a minimum of 10.000 for smaller companies to a maximum of 400.000 for larger ones.

4.2 Impact of DSS on sustainability

To understand the economic and environmental impact deriving from the application of smart farming to small agribusinesses through a DSS, farmers were asked about the number of treatments per year provided to their vineyard from 2018. As shown in Table 1, the average number of treatments per year presents a decreasing trend from 2018. Particularly, this reduction began to be observed from 2020, when the companies started using the DSS for the vineyard launched by Elaisian (reference year, in red in the tables). The motivation behind this reduction, according to the farmers interviewed, was that they were able to timely and effectively monitor the conditions in the field through weather stations, aided by the alerts that came through the app recommending or advising against treatment. This made it possible to better plan treatments in the field and, in most cases, be able to reduce them intervening only when necessary.

Year	Number of treatments
2018	8.2
2019	8.2
2020	7.8
2021	7.8
2022	6.2
2023	7.8

Table 1 – Average treatments per year from 2018 to 2023

In Table 2 is shown a comparison between the treatment costs reported by farmers in the interviews and the costs derived from the extant literature in this field.

With the term treatment we describe any intervention for plant protection, namely the use of fungicides or insecticidal products in the field. As it can be observed, the average annual costs for treatment management in vineyards reported by the companies align with those revealed by the study, with the difference that over the years, companies have managed to reduce the number of annual treatments from 2020 using the DSS, consequently lowering the average annual cost.

Year	€/Year	€/Year on average (period 2014-18) from the literature (Borsato et al. 2020)
2018	2586.3	2703
2019	2586.5	
2020	2753.3	
2021	1853.5	
2022	1953.7	
2023	1987.2	

Table 2 – Average costs of annual treatments (€)

Another aspect considered in the present analysis is the effect of smart farming support services on agribusinesses in converting from conventional to organic farming. Most of the SMEs, in fact, began the conversion shortly before, or concurrently with the adoption of the Elaisian system. The farmers reported that they chose to rely on a reliable DSS informed by data analytics to be helped during this process. The benefit obtained by the

companies were the increase in the average selling price of their wine made possible by the higher quality of grape obtained and the possibility to sell it as an organic product. The results are shown in Table 3.

Year	€/l
2018	5.6
2019	5.6
2020	5.6
2021	5.6
2022	7.9
2023	7.9

Table 3 – Average selling price of wine

In the interviews all farmers mentioned that the use of DSS for agriculture has positively impacted their farm in terms of process management as well as environmental and economic sustainability.

Among the reasons for this assumption, farmers agreed that a DSS for agriculture helps them to monitor the field remotely, helps them understand whether there are conditions for the disease to develop so that preventive action can be taken.

4.3 Discussion

From the interviews emerged also some significant qualitative aspect. Farmers rely on the DSS services to make more informed decisions, especially during the conversion of their vineyards to organic. The advantage of having climate parameters monitored directly on their smartphones is the ability to oversee the vineyard remotely, identifying problematic areas using vegetative indices and intervening promptly when necessary. Furthermore, it was also evident how, in particularly challenging years such as 2023 when there was a significant downy mildew outbreak across Italy, it is essential to make decisions guided by the DSS to save the production. Most farmers reported they do not consider their firm to be very innovative itself, but at the same time they are making an effort to keep up with the times by subscribing to external innovative aids to stay abreast of new possibilities that exist. In general, farmers reported that thanks to the DSS services, they were able to reduce costs by an average of 5 percent (considering also the costs of the platform services), in terms of not only reduced treatments, but also labour force needed. This had also a beneficial effect on the quality of their work. In line with this, they were able to reduce direct monitoring

interventions in the field. Several farmers have stated they were able to salvage their production of the last year thanks to the timely alerts they received on their phones, in contrast to many neighbouring winegrowers who did not rely on these types of monitoring resulting in a severe economic and products loss.

Another aspect that emerged was the increase in the profitability of both their crop and final product (wine). Indeed, passing to an organic farming plus receiving an agriculture 4.0 certificate released from Elaisian gave them the possibility to more effectively communicate the higher quality of their products to consumers though the information that can be included on the product label.

Therefore, our results provide new original evidence to confirm some initial trends encountered in the literature. DSS have become indispensable tools for modern viticulture. They empower winegrowers with data-driven insights, predictive capabilities, resource optimization, and operational efficiency, all of which are crucial for the sustainability and success of vineyards. This not only results in reduced costs and increased revenues, as shown in the discussion with Borsato et al., (2020), but also from the point of view of the lower environmental impact that vineyards using new technologies have, as shown in Casson et al. (2022), which clearly highlighted the difference between non-innovative vineyards and innovative ones. In an era of climate change and increasing variability in weather patterns, the role of DSS in vineyard management becomes even more critical, ensuring the resilience of the vineyards to face environmental challenges. From the discussions with wine producers, there has been a growing sense of urgency among them to embrace technological innovation and evolve their businesses to address both climate change and the rising costs of recent years. Overall, the interviewed farmers find the DSS service valuable and would recommend it to their neighbors, which is an encouraging outcome for the future and suggests a greater willingness on their part to embrace innovation.

5 Conclusions

In the ever-evolving world of viticulture, the utilization of Decision Support Systems for precision agriculture has emerged as a game-changer for vineyard management. The evidence presented so far based on a triangulation of secondary and primary data collected on field demonstrate how these platforms facilitate the automation of routine tasks, freeing up time for winegrowers to focus on higher-level decision-making and vineyard-specific strategies.

This study has clearly highlighted how the use of innovation in agriculture can be a valuable ally for farmers, especially in sensitive stages such as those of conversion between conventional and organic regimes, where prevention becomes of crucial importance. For many reasons mainly connected to the scarcity of resources and capabilities, frequently the innovation in this field comes from outside of the firm, as a service provided by technology-driven platforms.

These aids would reduce the environmental impact of agriculture, produce healthier products and give the farmers the possibility to increase their profits by communicating to consumers the higher quality of their offer.

The limitations of the present study rely mainly on the narrow sample size and the area covered. Future research should extend these results by involving a larger number of farmers from different areas as well as sectors for significant comparisons.

Acknowledgements

The author would like to thank the company Elaisian Srl for the support in terms of data and technical knowledge in the field of Precision Agriculture. Particularly, the Agronomist Chiara Medico for her support during the data collection and interpretation phases.

References

- ALEXANDRIDIS, T.K., ANDRIANOPOULOS, A., GALANIS, G., KALOPESA, E., DIMITRAKOS, A., KATSOGIANNOS, F., ZALIDIS, G. (2017). An Integrated Approach to Promote Precision Farming as a Measure Toward Reduced-Input Agriculture in Northern Greece Using a Spatial Decision Support System. *Comprehensive Geographic Information Systems*, 315-352.
- AMUSAN, L., OYEWOLE, S. (2022). Precision agriculture and the prospects of space strategy for food security in Africa. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 1-12.
- BEN AYED, R., HANANA, M. (2021). Artificial intelligence to improve the food and agriculture sector. *Journal of Food Quality*, 2021, 1-7.
- BORSATO, E., ZUCCHINELLI, M., D'AMMARO, D., GIUBILATO, E., ZABEO, A., CRISCIONE, P., PIZZOL, L., COHEN, Y., TAROLLI, P., LAMASTRA, L., MARINELLO, F. (2020). Use of multiple indicators to compare sustainability performance of organic vs conventional vineyard management. *Science of The Total Environment*, 711, 135081. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135081>
- CAFFI, T., LEGLER, S.E., ROSSI, V., BUGIANI, R. (2012). Evaluation of a warning system for early-season control of grapevine powdery mildew. *Plant Disease*, 96(1), 104-110.
- CAMPOS, H. (2021). The innovation revolution in agriculture a road map to value creation, Springer.
- CASSON, A., ORTUANI, B., GIOVENZANA, V., BRANCADORO, L., CORSI, S., GHARSALLAH, O., GUIDETTI, R., FACCHI, A. (2022). A multidisciplinary approach to assess environmental and economic impact of conventional and innovative vineyards management systems in Northern Italy. *Science of The Total Environment*, 838, 156181. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156181>.
- CHEN, M., BRUN, F., RAYNAL, M., MAKOWSKI, D. (2020). Forecasting severe grape downy mildew attacks using machine learning. *PLoS One*, 15(3), e0230254.
- DE CLERCQ, M., VATS, A., BIEL, A. (2018). Agriculture 4.0: The future of farming technology. Proceedings of the world government summit, Dubai, UAE, 11-13.
- DONNA, P., TONNI, M., DIVITTINI, A., VALENTI, L. (2011). Concimare il vigneto guidati dal satellite. Vantaggi e costi accessibili per tutte le dimensioni aziendali. *L'Informatore Agrario*, pp. 42-46.
- FAO, (2017). The future of food and agriculture and challenges.
- FAURE, G., CHIFFOLEAU, Y., GOULET, F., TEMPLE, L., TOUZARD, J.M. (2018). *Innovation and development in agricultural and food systems*. Quae.

- GKISAKIS, V.D., VOLAKAKIS, N., KOSMAS, E., KABOURAKIS, E.M. (2020). Developing a decision support tool for evaluating the environmental performance of olive production in terms of energy use and greenhouse gas emissions. *Sustainable Production and Consumption*, 24, 156-168.
- JAVAID, M., HALEEM, A., SINGH, R.P., SUMAN, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*, 3, 150-164.
- KAMILARIS, A., KARTAKOULLIS, A., PRENAFETA-BOLDÚ, F.X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37.
- MADDALENA, G., MARONE FASSOLO, E., BIANCO, P.A., TOFFOLATTI, S.L. (2023). Disease Forecasting for the Rational Management of Grapevine Mildews in the Chianti Bio-District (Tuscany). *Plants*, 12(2), 285.
- NAZZARO, C., ULIANO, A., MAROTTA, G. (2021). Drivers and Barriers towards Social Farming: A Systematic Review. *Sustainability*, 13(24), 14008.
- PERTOT, I., CAFFI, T., ROSSI, V., MUGNAI, L., HOFFMANN, C., GRANDO, M.S., ANFORA, G. (2017). A critical review of plant protection tools for reducing pesticide use on grapevine and new perspectives for the implementation of IPM in viticulture. *Crop Protection*, 97, 70-84.
- PORTER, J.R., XIE, L., CHALLINOR, A.J., COCHRANE, K., HOWDEN, S.M., IQBAL, M.M., LOBELL, D.B. TRAVASSO. M.I. (2014). Food security and food production systems. In IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 485-533. Cambridge, UK and New York, USA, Cambridge University Press.
- ROSSI, V., SALINARI, F., PONI, S., CAFFI, T., BETTATI, T. (2014). Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems: The example of vite.net®. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 88-99. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.011>.
- SAMO, A.H., SAVASTANO, M., UZAIR, A. (2023). Strategizing for the growth and Sustainability of Green Agriculture Enterprises: a developing Country Perspective. In *UN 8th Multi-stakeholder (STI) Forum on Science, Technology and Innovation for the Sustainable Development Goals*.
- SAVASTANO, M., ANGELICI, D., FIORENTINO, S., AMENDOLA, C. (2022a). Il ruolo delle tecnologie 4.0 nel supporto alle decisioni strategiche. Un'analisi empirica nel settore dell'agricoltura di precisione. *INDUSTRIE ALIMENTARI*, 61(630), 5-20.

- SAVASTANO, M., SAMO, A.H., CHANNA, N.A., AMENDOLA, C. (2022b). Toward a conceptual framework to foster green entrepreneurship growth in the agriculture industry. *Sustainability*, 14(7), 4089.
- SCHUMPETER, J.A. (1934). The theory of economic development, An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle, Harvard Economic Studies.
- SILVA, V., YANG, X., FLESKENS, L., RITSEMA, C.J., GEISSEN, V. (2022). Environmental and human health at risk—Scenarios to achieve the Farm to Fork 50% pesticide reduction goals. *Environment international*, 165, 107296.
- SPACHOS, P. (2020). Towards a low-cost precision viticulture system using internet of things devices. *IoT, I(1)*, 5-20.
- TRIVELLI, L., APICELLA, A., CHIARELLO, F., RANA, R., FANTONI, G., TARABELLA, A. (2019). From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector. *British food journal*, 121(8), 1730-1743.
- UDIAS, A., PASTORI, M., DONDEYNAZ, C., MORENO, C.C., ALI, A., CATTANEO, L., CANO, J. (2018). A decision support tool to enhance agricultural growth in the Mékrou river basin (West Africa). *Computers and electronics in agriculture*, 154, 467-481.
- ZAZA, C., BIMONTE, S., FACCILONGO, N., LA SALA, P., CONTÒ, F., GALLO, C. (2018). A new decision-support system for the historical analysis of integrated pest management activities on olive crops based on climatic data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 148, 237-249.
- ZHAI, Z., MARTÍNEZ, J.F., BELTRAN, V., MARTÍNEZ, N.L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256.

The integration of Blockchain technologies in the cocoa supply chain: state of art and emerging opportunities

Andrea Apicella
University of Pisa
Angela Tarabella
University of Pisa

ABSTRACT

Innovative technologies are known to potentially have a great impact on agricultural supply chains, sublimating the pervasive integration of the technologies themselves within the entire processing cycle from the Industry 4.0 paradigm. The adoption and subsequent development of new technologies within agricultural supply chains have always been a factor of great interest that continues to shape new agricultural production systems in its most varied forms. The use of Blockchain technology within the cocoa production chain appears to be growing, and it has various objectives including that of ensuring greater product traceability within the chain itself and as a tool for protecting workers and for end consumers by shielding them from potential unfair commercial practices. The objective of this study is to identify, through an analysis of literature review, what are the possibilities of technological integration of the Blockchain within the entire chain of production, cultivation and distribution of cocoa also including the social dimension of worker protection. The results show a growing attention of the scientific community towards these new forms of technological integration within a supply chain, that of cocoa, which still presents various critical issues in terms of supply chain traceability and unethical work. The contribution that the study intends to enrich to the existing literature is that of identifying what the current state of the art is in the various forms of application of new technologies within the agricultural cocoa supply chain with the aim of increasing its transparency, traceability and to mitigate unethical activities.

KEYWORDS: blockchain technology; innovative technology; cocoa; supply chain; precision agriculture.

1 Introduction

Cocoa is an ingredient loved around the world for its unique taste and culinary versatility and its derivative products, such as chocolate, which

it represents one of the most famous products derived from cocoa beans, are popular luxury products and are marketed with a wide range of varieties (Kraft and Kellner, 2022). The success of this product has a significant impact on the global economy, being among the ten most-exported commodities and imported by the most industrialized nations: in fact cocoa beans are the 367th most marketed product in the world and are imported mainly from the Netherlands (\$1.94 billion), followed by the United States (\$1.22 billion), Malaysia (\$1.16 billion), and Germany (\$717 million) (OEC, 2023; Kraft and Kellner, 2022). However, the cocoa supply chain is, in some cases, complex and not very transparent, characterized above all by problems linked to poor living and the working conditions of the workers in the supply chain, ending up in the crosshairs of criticism (Amankwaah et al., 2021; Kraft and Kellner, 2022). In fact, especially in the developing countries of Ghana and Ivory Coast, among the largest producers of cocoa beans in the world with over 70% of production (Kraft and Keller, 2022), a long series of scandals have occurred since the 1990s, including the use of children as workers within the supply chain and other unethical issues (Musah et al., 2019). Furthermore, in the same years, several food crises affected the same supply chain including the Belgian PCB/dioxin incident in 1999 (Bernard and Fierens, 2002) or the case of melamine contained in milk products in China which affected several chocolate-based products in different countries around the world (Xiu and Klein, 2010). The damage resulting from the lack of transparency concerns many areas in addition to those mentioned above. Very often the purchasing companies do not know exactly the origin of the cocoa beans (Kraft and Kellner, 2022), the farmers coming from the major production areas such as sub-Saharan Africa and Asia are 80% small farmers with an average cultivable area per company that is less than two hectares thus making the transmission of information on the production chain complicated and fragmented (Quayson et al., 2021). This situation, combined with the low and volatile prices of cocoa and the growing demand from Western countries, creates environmental issues such as deforestation due to the greater demand for cocoa (Amankwaah et al., 2021; Fountain and Huetz -Adams, 2022; Kraft and Kellner, 2022). This situation has led to a greater demand for food safety and a greater number of quality controls both nationally and internationally (Borrell Fontelles and Nicolai, 2004; Musah et al., 2019). One of the main requests that come from consumers is that of greater transparency which concerns the entire supply chain including the production phase. In fact, consumers want to be sure that the products intended for consumption are free from ethical issues and food critical issues (Musah et al., 2019). A more transparent supply chain can offer more information regarding the origin of the product and helps companies to better communicate information

to the final consumer which increases the level of trust. Likewise, greater transparency can help farmers from a social, economic and sustainability point of view by increasing the information available right from the cultivation phase and by being able to communicate externally a wide range of information such as labor circumstances, transactions, production process or environmental impacts (Kraft and Kellner, 2022). However, especially in the agricultural supply chains of emerging economies, allowing transparency of the entire supply chain combined with social implications turns out to be a complex decision-making task that requires the use of new emerging technologies which can be easily disseminated and are able to enhance information efficiency and authenticity (Bai et al., 2022). Already in 2019, the World Economic Forum proposed a list of twelve technologies applicable to food systems and which could also be easily implemented in the supply chains of emerging countries. Among these we can mention technological innovations such as the use of drones in agriculture, the Internet of Things (IoT), big data analytics, global positioning systems and blockchain technology. Blockchain technology, especially when integrated with IOT and big data analytics, can automate the way in which product information is collected along the supply chain, recording updates and building tamper-proof record blocks (Quayson et al., 2020).

2 Cocoa production phases

Following the approach provided by Abijaude et al. (2022) in the cocoa production phase, starting from the cultivation of the cocoa beans up to the marketing to the final consumer, it is possible to divide the phases as reported in Table 1, where each phase can be integrated into a computational system and identifying the relevant subphases.

Phase	Subphase
Cultivation	Environmental parameteres verification; Land preparation; Seed selection; Seed Sowing; Irrigation; Crop; Fertilizing.
Harvesting	Checking for ripeness; Picking; Pod and bean separation.

Processing	Fermentation; Drying; Aging or; Roasting or; Refining and conching; Storing.
Distribution (Supply-chain management)	Transportation; Tracking; Product quality verification during distribution; Warehousing.

Table 1 – Cocoa production phases. Source: Abijaude et al., 2022

Those main phases can be summarized in four processes:

1. *Cultivation*. Cocoa trees fear direct sunlight, which is why they should be grown in the shade of taller trees such as palms and bananas. It is in this protected habitat that the fruits of the cocoa tree are born: the pods, similar to melons, with an elongated shape and a wrinkled and very resistant shell. Their color ranges from yellow to red and from the pollination of the flowers, they take about 5-6 months to mature. Cocoa is mainly grown in countries such as Ivory Coast, Ghana, Indonesia, Nigeria and Brazil as cocoa plants require a tropical climate and grow best in nutrient-rich soil.

2. *Harvesting*. The fruits of the cocoa tree are detached from the branches with a machete and are usually opened already on the plantation. Once the pods are opened, the precious cocoa beans are extracted. Each fruit can contain from 25 to 75. The shells and the pulp in which they are submerged, sugary and bittersweet, are then used as natural fertilizers and left in the field or used as feed for livestock.

3. *Processing*.

- Fermentation of the beans lasts from 2 to 12 days in baskets, in wooden boxes, in cylinders protected from light. During this period, the biochemical transformations necessary for the development of the cocoa aroma and the disappearance of the bitter taste typical of fresh beans occur.
- Drying. The cocoa beans are dried in the sun or in special ovens. This process removes moisture from the seeds from 60% to 7.5% and prolongs their shelf life. The dried cocoa beans are packaged in bags and stored until shipment. To reduce the risk of damage or loss of the cocoa, various precautions must be taken in this phase in terms of insulation, ventilation and storage. Similar risks occur during transport. For this reason, ventilated containers are

- used and the bags are loaded into boxes that allow the flow of air.
- Roasting. The cocoa beans are roasted to further develop the cocoa flavors and remove residual moisture.
- Refining and conching. The toasted cocoa beans are ground into cocoa mass. This paste is then pressed to separate the cocoa butter from the cocoa powder.

4. *Distribution.* The cacao or the chocolate are then distributed and sold all over the world, in many different sizes and shapes, such as bars, tablets, cocoa powder, spreads and much more.

3 Cocoa traceability and the implementation of Blockchain Technology

Traceability

According to ISO 22005:2007 food traceability is a system capable of tracking food, feed, food producing animals or substances used for consumption through all stages of production, processing and distribution. More specifically, it can be noted that the standardization organization wanted to give an even more specific definition regarding the traceability of cocoa, defining it as “the ability to follow the physical movement and/or mass conformity of sustainably produced cocoa through specific stages of production, processing and distribution” ISO-CEN-34101:2019¹.

Throughout the history of food, traceability has assumed a fundamental role as a tool for monitoring and ensuring the recall of food products in the event of problems related to food safety. In fact, especially following the various food crises that occurred between the end of the last century and the beginning of the new millennium, which also affected the cocoa supply chain (Bernard and Fierens, 2002; Xiu and Klein, 2010), there was a growing attention towards this issue on the part of both international and national organizations and on the consumer side. Likewise, globalization, driven by competitiveness and the search for advantageous prices, has often led to negative effects on the economic, environmental and social sustainability of producing communities, increasing production, transformation and transport costs. As a result, there has been growing interest in how innovations can help understand and address sustainability issues in the food sector.

Nowadays, traceability is becoming an ever-evolving concept, accompanied by tools that have the potential to inform, support and enable the actions of different actors in the food supply chain, from producer to

¹ Online platform available at <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:34101:-1:ed-1:v1:en>

consumer. Therefore, traceability represents a possibility to both improve and document the safety, quality and sustainability of food products. Cocoa traceability systems provide an essential foundation for promoting transparency along value chains and facilitate the development of monitoring systems, enabling access to information and enhancing the reliability of sustainability claims. By promoting transparency, such systems can act as a bridge between producers, governments, non-governmental organizations and market actors, offering a solid basis for ensuring that sustainability initiatives and standards effectively contribute to real impact.

Blockchain

Blockchain is a public technology that enables the creation of a decentralized, distributed, and trusted digital ledger that can be used to record transactions from multiple entities across a complex network to ensure the integrity and security of the information recorded within it. The operation of the chain itself resembles a block system, where each block contains a set of transactions verified and validated by a network of participating computers (so-called “nodes”). Each block also contains a reference to the previous block in the chain, thus creating a linear and immutable structure. The validation of transactions and the creation of new blocks occur through a process called “mining”. Miners use computing power to solve complex mathematical problems and create new blocks, receiving a cryptocurrency reward in return (Fernandez et al., 2022).

A record on a blockchain cannot be altered retroactively without the alteration of all preceding blocks and the consensus of the network (Yiannas, 2018) so, once a block has been created and validated, it is added to the chain and becomes permanent and immutable. If a transaction record, evidence of a transition made by an individual, company, government or non-profit, has an error, a new transaction must be added to correct it and both will be visible (Kraft and Kellner, 2022).

Based on the premises, the objective of the research is to identify, through a review of the literature, in which productive and social areas of cocoa production blockchain technologies are used and which models are proposed, trying to identify a common thread that makes possible a complete integration into the information chain.

4 Methodology

This research adopts an approach based on a literature review (Snyder, 2019). First of all, the authors analyzed the topic of using the blockchain chain within the agri-food sector to increase food traceability

and transparency. Subsequently, an integrative literature review was conducted (Snyder, 2019). Following the approach provided by Abijaude et al. (2022) the review collected the studies concerning the application of the Blockchain within the specific transformation phases up to the supply chain. Also added as an aspect that of applications for social purposes (Senou et al., 2019) included as an aspect detectable through the information collected in the supply chain or by itself.

The criteria reported in the following table (Tab. 2) were therefore used in order to include all the results emerging from the search on the Scopus database that were of potential interest for the literature review. Therefore, all those who did not meet the indicated criteria were excluded. Finally, to guarantee the correct relevance of the studies included for the purposes of the review based on the application of the inclusion criteria, the titles of the articles emerging from the query, the abstracts and, when the title and abstract were not sufficient to ascertain the adherence of the study to the research topics, the full text. This procedure allowed us to exclude irrelevant and duplicate articles (n=6) as reported in Figure 1. A data extraction form was then built containing general information of the individual articles (title, author, year of publication, source), specific information (content of the article, research method, subdivision by type of contribution) and specific comments (main contributions, framework within the cocoa production phases as proposed by Abijaude et al. 2022 and summarized in Tab.1).

<i>Keywords and strings used on Scopus database</i>	
TITLE-ABS-KEY	(blockchain AND cocoa)
TITLE-ABS-KEY	(blockchain AND cacao)
<i>Inclusion criteria</i>	
Criterion a	Article; Conference paper; Conference Review; Book chapter
Criterion b	Language: English

Table 2 – Keywords and string used, Inclusion criteria

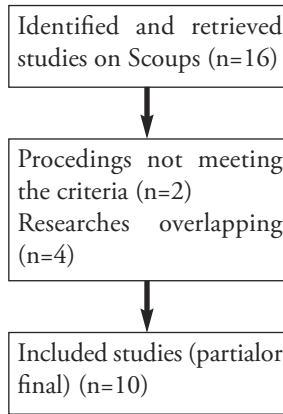


Figure 1 – Diagram of the selection of studies

Cocoa and Cacao

Although the term “cocoa” is the most used in the English language and in the literature, within the sector the use of the word “cacao” is also widely used especially when referring to beans (IESC, 2021). Therefore, at the time of review both words were used, “cocoa” and “cacao”, in association with the term “blockchain”.

5 Results and Discussion

An integrated model is therefore proposed among the evidence emerging from the research of Abijaude et al., (2022) with the evidence from the literature review, thus being able to highlight in which phases Blockchain technologies are actually used by associating the research that emerged with each single phase as reported in Table 3.

Phase	Subphase
Cultivation	Irrigation (Arsyad et al., 2022)
Harvesting	(Arsyad et al., 2022).
Processing	Fermentation (Arsyad et al., 2022); Drying (Abijaude et al., 2021; Arsyad et al., 2022); Storing (Arsyad et al., 2022).

<p>Distribution (Supply-chain management) + Social aspects</p>	<p>Supply chain (Arsyad et al., 2019; Bai et al., 2022; Iswari et al., 2018); Supply chain involving social aspects (Kraft and Kellner, 2022; Muash et al., 2019; Quayson et al., 2021); Social aspects (Senou et al., 2019).</p>
---------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Table 3 – Literature review in association with Phase and Subphase

In this regard it is possible to highlight how the research proposed by Arsyad et al. (2022) proposes a model that concerns farm transactions demonstrating a flow that simulates transactions implying a modular block chain instrumentation using a series of technologies that are also finding widespread use in the agricultural sector, among which we can mention sensors, controllers, network hardware, IT equipment and internal memory functions to implement data integrity and data security agricultural supply chain. In this regard, the study consists of an experimental proof-of-concept system called Encapsulating Block Mesh (EBM) which integrates blockchain technology with the specific case of cocoa production, specifically affecting the first production phases from cultivation and harvesting up to some processing sub-phases (fermentation, drying and storing). Abijuade et al. (2021) focuses mainly on the drying processing sub-phase, indicating it as one of the fundamental steps in the production of cocoa and especially gourmet cocoa. The model proposed in the research presents a decentralized application which is made up of four levels (Application, Middleware, Hardware and Blockchain). The purpose of the application is to optimize the cocoa drying process through the use of technologies that are capable of acquiring and controlling a large amount of data relating to rain, humidity, temperature and ultraviolet rays with the aim of putting the system in a position to perform autonomous actions. Furthermore, the research presents a proof of concept followed by a preliminary analysis of the system verifying its performance through the use of a simulator.

As regards the phase “*Distribution (Supply-chain management)*”, we find various contributions in the literature. This phase was also associated with the blockchain application in the cocoa supply chain which would identify implications for the social component of the production chain. In the research published in 2019, Arsyad et al., proposed a solution that connected blockchain technology to legal documentation in cocoa and chocolate production within a traceability system. The research, which aims to achieve greater data security, extends the concept of blockchain to a two-factor blockchain where both blockchains are connected via digital watermarking of the documentation media, one blockchain traces the

documentation phases, the other watermark embedding. In this way, it is possible to demonstrate the integrity of the information and their correlations, improving product traceability. Bai et al. (2022), propose a model of using blockchain technology to increase supply chain transparency. Starting from the technology-organization-environment (TOE) theoretical framework, applied to the cocoa industry, the research develops a hierarchical framework of facilitators to improve sustainable supply chain transparency (SSCT) with reference to African emerging economies. As a result, the main enabler is “Technical Features” and the three main sub-enablers are: “blockchain smart contract”, “blockchain security” and “product component tracking”. The research proposed by Iswari et al. (2019) aims to identify the needs and knowledge of the interactions that occur using the blockchain system within the cocoa supply chain. The results mainly highlight the identification of two inputs: on the one hand the structure of the cocoa supply chain and the activities that occur within it highlight all the stakeholders, on the other the output represented by the design of the cocoa supply chain blockchain’s system. Kraft and Kellner (2022) present a model, using the Ghanaian cocoa sector as an example, which builds on a blockchain solution that uses an open source Hyperledger Fabric framework to promote supply chain transparency and reduce fraud. Their model proposes a description of the integration of blockchain solutions taking into account the infrastructure of the supply chain in question with the knowledge and technological limitations available to farmers. The research of Musah et al. (2019) assessed the contributions made by the application of blockchain technology to the efficiency of the cocoa bean food supply chain in Ghana. Their evidence shows how the application of blockchain technology increases traceability and transparency in cocoa bean supply chains, also revealing various effects on unethical activities in sharp decline. The research presented by Quayson et al. (2020), identifies how the use of some blockchain technologies in emerging economies can be used to improve the vulnerability of smallholders in the cocoa supply chain but currently remains underutilized. The paper, in fact, presents itself as a description of the problems of small farmers and aims to formulate political recommendations to increase their social sustainability. Finally, the research conducted by Senou et al. (2019), identifies the use of smart contracts as a tool to combat child labor within the cocoa supply chain. Blockchain technologies in this way can have an impact on the supply chain and allows the creation of the aforementioned contracts, contributing to strategies for reducing child labor.

6 Conclusions

The cocoa industry appears to be a critical commodity for the economic survival of various emerging economies and causes its effects by marketing the finished product in various forms and in many countries around the world (Bai et al., 2022). This industry, however, seems to be affected by various problems and risks, such as corruption, fraud, environmental degradation, information asymmetries and social problems especially concerning the cultivation countries such as child labor and social inequalities (Bai et al., 2022; Senou et al., 2019). Blockchain technology can have a positive role within the cocoa production chain by ensuring transparency and increasing its environmental and social sustainability to overcome these challenges (Bai et al., 2022; Musah et al., 2019).

This research aimed to identify the cocoa production phases and associate, through a review of the literature, the use of blockchain technology to increase the transparency and traceability of the entire supply chain. The results concern an association, although present in a small number of studies compared to other food production (for example the coffee industry), therefore investigated to a lesser extent, in almost all phases of cocoa production making Blockchain technology pervasive along the production chain and highlighting some implementations of a social nature. The results of the study appear to represent a contribution to identifying the state of the art of the pervasiveness of blockchain technology within the supply chain and offer various ideas to national and supranational institutions in the design of policies in the agricultural sector linked to cocoa production as well as for all the stakeholders involved within the supply chain itself with the aim of making it more transparent and sustainable. The research is proposed as a starting point for future research that can model a total integration of new technologies within the cocoa production chain with the aim of increasing transparency, product traceability and reducing the critical issues associated with it.

References

- ABIJAUDE, J., PÉRICLES S., LEVY S., & FABÍOLA G. (2022). Improving Data Security with Blockchain and Internet of Things in the Gourmet Cocoa Bean Fermentation Process. *Sensors* 22, no. 8: 3029.
- ABIJAUDE, J., SOBREIRA, P., PINTO, I., & GREVE, F. (2021). Combining REST and SNMP for HTTP traffic optimization: A case study on gourmet cocoa drying. Paper presented at the *Proceedings – 2021 IEEE Latin-American Conference on Communications, LATINCOM 2021*.
- AMANKWAAH, B.A., ASOMANING, G., ATUGUBA, R.A., AYIFAH, E., BRUDNEY, A., CITRO, B., RYERSON, C., SARKWAH, S.K., TARZIKHAN, A. (2021). COCOBOD's Unrealised Potential: Promoting Human Rights, Welfare, and the Environment in Ghana's Cocoa-Growing Communities; Northwestern Pritzker School of Law Center for International Human Rights, University of Ghana School of Law, Corporate Accountability Lab & SEND Ghana: Accra, Ghana, 2021.
- ARSYAD, A.A., WIDAYAT, I.W., & KÖPPEN, M. (2022). Supporting Farming Smart Documentation System By Modular Blockchain Solutions. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 5(1), 1-26.
- BAI, C., QUAYSON, M., & SARKIS, J. (2022). Analysis of blockchain's enablers for improving sustainable supply chain transparency in africa cocoa industry. *Journal of Cleaner Production*, 358.
- BERNARD, A., FIERENS, S. (2002). The Belgian PCB/dioxin incident: a critical review of health risks evaluations. *Int J Toxicol*. 2002 Sep-Oct;21(5):333-40.
- BORRELL FONTELLES, J., & NICOLAI, A. (2004). Regulation (EC) No 1935/2004 of the European Parliament and of the Council of 27 October 2004 on Materials and Articles Intended to Come into Contact with Food and Repealing Directives 80/590/EEC and 89/109/EEC. *Official Journal of the European Union (L338)*, 47, 4-17.
- FERNANDEZ-VAZQUEZ, S., ROSILLO, R., DE LA FUENTE, D. AND PUENTE, J. (2022), "Blockchain in sustainable supply chain management: an application of the analytical hierarchical process (AHP) methodology", *Business Process Management Journal*, Vol. 28 No. 5/6, pp. 1277.
- FOUNTAIN, A.C., HUETZ-ADAMS, F. (2022). *Cocoabarometer 2022*. Available online: <https://cocoabarometer.org/en/2022-cocoa-barometer-executive-summary/>.

- IESC, (2021). Global Cocoa Market Study, Amsterdam, The Netherlands.
- ISO. (2007). ISO 22005: 2007-Traceability in the feed and food chain- General principles and basic requirements for system design and implementation.
- ISWARI, D.A., ARKEMAN, Y., & MUSLICH. (2019). Requirement analysis of blockchain systems on cocoa supply chain. Paper presented at the *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 335(1).
- KRAFT, S.K., & KELLNER, F. (2022). Can blockchain be a basis to ensure transparency in an agricultural supply chain? *Sustainability* (Switzerland), 14(13).
- MUSAH, S., MEDENI, T.D., & SOYLU, D. (2019). Assessment of role of innovative technology through blockchain technology in ghana's cocoa beans food supply chains. Paper presented at the *3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, ISMSIT 2019 – Proceedings*.
- QUAYSON, M., BAI, C., & SARKIS, J. (2021). Technology for social good foundations: A perspective from the smallholder farmer in sustainable supply chains. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68(3), 894-898.
- SENOU, R.B., DÉGILA, J., ADJOBLO, E.C., & DJOSSOU, A.P.M. (2019). Blockchain for child labour decrease in cocoa production in west and central africa. Paper presented at the *IFAC-PapersOnLine*, 52(13) 2710-2715.
- SNYDER, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339.
- XIU, C., AND KLEIN, K.K. (2010). Melamine in Milk Products in China: Examining the Factors that led to Deliberate use of the Contaminant. *Food Policy*, 35(5), 463-470.
- YIANNAS, F. (2018). A New Era of Food Transparency Powered by Blockchain. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*; 12 (1-2): 46-56.

La carne coltivata nella società: percezione dei consumatori e fattori chiave abilitanti

Federica Bisceglia

Università degli Studi Roma Tre

Laura Di Pietro

Università degli Studi Roma Tre

Roberta Guglielmetti Mugion

Università degli Studi Roma Tre

Veronica Ungaro

Università degli Studi Roma Tre

ABSTRACT

Obiettivo: il presente articolo ha lo scopo di indagare la propensione dei consumatori all'acquisto di carne sintetica e definire i principali fattori che influenzano l'intenzione a provarla e integrarla nelle loro diete.

Metodologia: per rispondere all'obiettivo di ricerca è stata condotta un'indagine online rivolta a potenziali consumatori di carne coltivata in Italia. Nello specifico è stato somministrato un questionario a 136 consumatori. I dati raccolti sono stati studiati attraverso analisi statistiche univariate e bivariate.

Risultati: attraverso l'uso dell'analisi fattoriale è stato possibile estrarre tre fattori: Percezione di impatti positivi su ambiente e salute, Attenzione alla sostenibilità e Accettazione sociale della carne sintetica. L'applicazione di una regressione lineare multipla ha permesso di individuare che tutti e tre i fattori sembrano influenzare positivamente l'intenzione ad acquistare la carne sintetica e che il fattore che ha l'impatto più significativo è la percezione di impatti positivi su ambiente e salute.

Limiti: l'analisi è stata svolta su un campione ristretto di individui e nel solo contesto italiano. Studi futuri potrebbero ampliare il campione e includere altri contesti e Paesi per effettuare dei confronti sulla propensione dei consumatori. Inoltre, ulteriori indagini potrebbero includere anche la visione dei produttori di carne sintetica. Infine, potrebbero essere aggiunte altre variabili al modello.

Originalità: La ricerca contribuisce ad ampliare gli studi sulla carne sintetica analizzando le percezioni dei consumatori rispetto al nuovo tipo di alimento. In particolare, sono stati identificati i fattori che influenzano maggiormente l'intenzione dei consumatori ad assaggiare la carne sintetica, al fine di fornire spunti di riflessione sulle strategie più efficaci per promuovere l'innovazione alimentare.

PAROLE CHIAVE: carne sintetica, settore agroalimentare, sviluppo sostenibile, proteine alternative, sostenibilità

1 Introduzione

L'alimentazione assume un ruolo fondamentale per il benessere delle persone e si prevede che i prossimi decenni saranno piuttosto incerti per quanto riguarda la qualità e la quantità di cibo disponibile a livello mondiale (FAO, 2018; Palmieri et al., 2020).

Le crescenti preoccupazioni ambientali seguite dalla scarsità delle risorse e dal complesso contesto normativo in materia di sicurezza alimentare pongono importanti sfide alla progettazione e gestione di solide catene di approvvigionamento alimentare (Tsolakis et al. 2014). Queste preoccupazioni spingono la comunità scientifica a ricercare strategie alternative per sviluppare prodotti più adatti al benessere umano e con minor impatto ambientale, migliorando al contempo la qualità e la durata di conservazione dei prodotti (Rodriguez et al., 2023).

In tale contesto, la produzione zootecnica risente fortemente di tali cambiamenti e sebbene il consumo di carne nei paesi sviluppati sia costante o in marginale diminuzione, la continua crescita della popolazione globale seguita dalla crescita economica individuale, soprattutto nei Paesi in via di sviluppo, spingono costantemente all'aumento del consumo globale di carne (Godfray et al., 2018; Zhang et al. 2022). Tuttavia, i limiti che le risorse naturali impongono alla produzione di carne convenzionale non consentirebbero di soddisfare la crescente domanda con conseguente aumento dei prezzi e peggioramento della distribuzione globale degli alimenti (Materi et al., 2022). Inoltre, la crescente consapevolezza di tali rischi connessa alla conoscenza di altre conseguenze negative, tra cui, i danni ambientali, lo scarso benessere degli animali, le malattie infettive e le cattive condizioni di salute dovute all'elevato consumo di prodotti animali ha condotto alla ricerca di possibili soluzioni innovative (Salmon et al. 2020). L'uso di proteine alternative, come quelle a base vegetale, di insetti, funghi, alghe o legumi rappresentano alcune delle possibili strategie (Font-i-Furnols e Guerrero, 2022).

Negli ultimi anni, la carne artificiale si è affermata tra le possibili opzioni in grado di ridurre il consumo globale di carne convenzionale nonché migliorare la salute pubblica e la protezione dell'ecosistema (Palmieri et al., 2020). Tuttavia, questa tecnologia è ancora in fase di sviluppo e la produzione su larga scala non è ancora disponibile sul mercato (Post, 2014; Bhat et al., 2015; Kadim et al., 2015; Mattick et al., 2015; Orzechowski, 2015; Sharma et al., 2015; Stephens et al., 2018). Inoltre, l'accettazione da

parte dei consumatori è ancora incerta in molti Paesi. Quest'ultima è fondamentale per lo sviluppo e la diffusione di nuovi prodotti (Hocquette et al., 2015; Bryant e Barnett, 2018; Wilks et al., 2019).

La produzione e il consumo di carne convenzionale hanno da sempre accompagnato il processo evolutivo dell'uomo e ad oggi la carne è un elemento fortemente radicato in molti aspetti culturali e sociali (Bulliet, 2005; deFrance, 2009; Leroy & Praet, 2015). Pertanto, introdurre cambiamenti nel comportamento dei consumatori finalizzati a un consumo più ragionevole e sostenibile di carne non sembra un compito semplice, poiché cambiare credenze, abitudini e tradizioni così radicate richiede azioni ben pianificate e correttamente eseguite (Font-i-Furnols e Guerrero, 2022). Tuttavia, diviene sempre più chiaro che gli attuali metodi di allevamento intensivo in Europa sono insostenibili. Gli allevamenti occupano il 28% dei terreni dell'UE e contribuiscono in modo significativo all'acidificazione del suolo, all'inquinamento delle acque e all'inquinamento atmosferico (Leip et al., 2015).

Diventa quindi necessario comprendere le modalità migliori per realizzare una transizione alimentare che porti ad abitudini più salutari e sostenibili per l'ambiente. La presente ricerca intende contribuire ai crescenti studi nell'ambito della carne coltivata attraverso l'analisi sui comportamenti e le percezioni dei consumatori. Nello specifico, lo studio esplora il contesto italiano con l'intento di identificare i principali fattori trainanti che possono influenzare positivamente l'intenzione dei consumatori ad assaggiare la carne coltivata. L'intento è quello di fornire le migliori strategie d'azione che possano facilitare l'introduzione nel mercato del nuovo alimento e promuovere l'innovazione alimentare.

Il documento è strutturato come segue: in primo luogo, si illustrano le principali sfide che il settore della carne è chiamato ad affrontare a seguito della richiesta di una maggiore sostenibilità della filiera. Viene quindi fornita una sintesi della letteratura esistente sulla carne sintetica in modo da definire i principali studi sull'argomento e le priorità di ricerca emergenti. Segue la descrizione della metodologia utilizzata per l'indagine sui consumatori e la presentazione dei principali risultati raggiunti. Nell'ultima sezione si discutono le conclusioni, i contributi, i limiti e le prospettive future dello studio condotto.

2 Background

Secondo le previsioni della FAO, la popolazione aumenterà di 2 miliardi di persone entro il 2050, rendendo necessario un aumento del 70% dell'offerta alimentare globale (FAO, 2017). In particolare, secondo l'OCSE

e la FAO, il consumo di carne dovrebbe aumentare del 14% fino al 2030 per effetto dell'aumento del reddito medio individuale e della crescita demografica (Godfray et al., 2018).

Tuttavia, la funzione del bestiame è talvolta dibattuta in funzione del contesto in quanto la quantità di carne consumata varia notevolmente tra gli individui di una società e tra le società stesse (Salmon et al., 2020). Nei Paesi a basso e medio reddito, il bestiame è percepito in maniera spesso positiva in quanto fornisce nutrienti essenziali alla salute e soddisfa alcune aspettative in termini di status socioeconomico, specialmente laddove gli individui provengono da un contesto di povertà. Pertanto, si prevede che la crescita maggiore nel consumo di alimenti animali sia quella dell'Asia, dell'America Latina e del Medio Oriente, connessa principalmente all'aumento del benessere e del reddito individuale. Per contro, in alcuni Paesi sviluppati si prevede una contrazione dei consumi a causa dei minori tassi di crescita del reddito e del declino demografico. Sembra infatti che il consumo di carne pro capite in questi Paesi sia saturo e che l'invecchiamento della popolazione, i cambiamenti demografici, la maggiore consapevolezza in materia di salute e nutrizione nonché la maggiore attenzione all'etica animale e alle questioni ambientali porteranno a un rallentamento della crescita media dei consumi (Henchion et al., 2021). Aspetti come la salubrità e la sostenibilità degli alimenti assumono un'importanza sempre maggiore, plasmando così le abitudini di consumo della carne e aumentando la domanda dei consumatori per una produzione di carne più sostenibile ed etica (Commissione Europea, 2020).

Tuttavia, cambiare le abitudini di consumo alimentare è una sfida che richiede l'identificazione dei complessi fattori socioculturali ed economici associati al consumo di carne nonché lo sviluppo di politiche per interventi efficaci.

La carne è probabilmente l'alimento più controverso al giorno d'oggi ed è soggetta al maggior numero di dilemmi etici e morali, sanitari, ambientali ed economici (Macdiarmid, Douglas, & Campbell, 2016). Il consumo di carne non si basa esclusivamente sull'accessibilità economica, ma anche su altri fattori, come la disponibilità o la convenienza percepita dal consumatore, nonché il suo valore sociale e culturale. Infatti, la scelta del cibo che viene acquistato è influenzata dalle nostre convinzioni e dai nostri valori e fa parte del modo in cui costruiamo la nostra identità. Anche l'economia e la politica influenzano i modelli di consumo della carne se si considera che il bestiame costituisce il 40% della produzione agricola in termini di prezzo e di produzione di carne e la trasformazione e la vendita al dettaglio rappresentano un settore economico importante nella maggior parte dei Paesi (Godfray et al., 2018). Tuttavia, la produzione di carne rappresenta una delle principali forme di impatto dell'umanità sull'ambiente.

Il bestiame è responsabile di diversi problemi sistemici globali, tra cui il consumo di acqua dolce, l'uso eccessivo del suolo e delle risorse fossili (Herrero et al., 2016). Provoca il 18% dei gas serra globali indotti dall'uomo e il 37% del metano atmosferico globale. Circa il 30% della superficie terrestre è utilizzata per il pascolo di circa 20 miliardi di capi di bestiame e il 32% dell'acqua dolce e circa il 30% della superficie agricola mondiale sono utilizzati per l'alimentazione degli animali, per fornire mezzi di sostentamento diretti e guadagni finanziari ad almeno 1,3 miliardi di produttori e rivenditori (Font-i-Furnols e Guerrero, 2022). Inoltre, le proteine rientrano tra i principali nutrienti destinati a scarseggiare in futuro, poiché le proteine animali, in particolare le carni rosse e bianche, saranno inaccessibili alla popolazione in condizioni di insicurezza alimentare. Si stima che il mondo avrà bisogno di 265 milioni di tonnellate di proteine in più entro la metà di questo secolo, ovvero circa il 50% in più rispetto a oggi (Fatima et al., 2023). I settori dell'allevamento e della lavorazione della carne stanno compiendo numerosi sforzi per adattarsi alle richieste della società in materia di cambiamenti climatici, impatto ambientale, benessere degli animali, sicurezza alimentare e qualità complessiva, ma restano ancora da affrontare numerose criticità in termini di sostenibilità globale (Broom, 2021; Capper, 2013; Simões et al., 2021).

La ricerca di alternative al consumo di carne convenzionale appare quindi una soluzione essenziale per limitare gli impatti negativi del settore sul benessere umano e planetario (Sijpestijn, Wezel, Chriki, 2022).

Attualmente gli sforzi per trovare fonti proteiche sostenibili alternative per evitare l'insicurezza alimentare e limitare l'impatto ambientale stanno andando avanti. Un'ampia gamma di specie di microalghe e insetti è stata etichettata come fonte proteica sostenibile e rappresentano alternative proteiche alla carne con un alto tasso di successo previsto. L'applicazione di biotecnologie all'avanguardia che ha permesso di produrre carne coltivata in laboratorio ha reso possibile l'introduzione di un ulteriore alimento alternativo in grado di per affrontare le sfide proteiche previste (Fatima et al., 2023).

La carne coltivata, nota anche come carne in vitro, carne in laboratorio, carne basata su cellule o carne sintetica rappresenta la versione "biologicamente equivalente" della carne (Welin, 2013). La produzione di carne coltivata rappresenta "la terza fase della produzione di carne" dopo la caccia e la pastorizia (Verbeke et al., 2015) e la sua produzione richiede l'estrazione di cellule da animali vivi e la loro crescita in un ambiente di laboratorio

(Mancini & Antonioli, 2019; Post, 2012; Zhang et al. 2021). Presentata per la prima volta nel 1912 e successivamente sviluppata in molteplici tecnologie fino a giungere al lancio, nel 2013, dell'hamburger di carne coltivata, negli ultimi anni comincia a ricevere un'accoglienza positiva

da parte dei consumatori. Attualmente, la ricerca e lo sviluppo di questo nuovo tipo di alimento sembrerebbero acquistare ancora più spazio dal momento che la carne coltivata è considerata non soltanto un'efficace soluzione per la futura domanda proteica, ma anche un'ottima soluzione per ridurre gli impatti negativi dell'industria della carne convenzionale sull'ambiente (Deliza et al., 2023). Secondo la letteratura, tale tecnologia contribuirebbe alla riduzione dell'impatto ambientale dell'allevamento, l'eliminazione dei problemi legati al benessere degli animali e alla macellazione e il miglioramento della sicurezza e della salubrità della carne (Hocquette et al. 2013; Verbeke et al., 2015). Si stima che la carne coltivata possa ridurre l'uso del suolo del 99%, l'uso dell'acqua del 96% e il consumo di energia del 45% (Tuomisto & Teixeira de Mattos, 2011) e che riducono notevolmente l'impronta di carbonio e l'inquinamento atmosferico rispetto alle carni bovine, suine e di pollo. Infine, grazie ai miglioramenti nel controllo della produzione di carne coltivata e alla limitata interazione uomo-animale, la sicurezza della carne coltivata sarà migliore rispetto a quella convenzionale in quanto diminuirà il rischio di zoonosi e altre malattie infettive (Datar & Betti, 2010; Zhang et al., 2021).

Sono ancora necessarie ulteriori ricerche per ottimizzare la metodologia di coltura cellulare per aumentare la sicurezza alimentare e diminuire il rischio di contaminazione (Fatima et al., 2023), oltre a un quadro normativo per migliorare la fiducia dei consumatori nei prodotti e nella produzione in coltura (Deliza et al., 2023).

Numerosi studi pubblicati finora si collocano nell'ambito delle scienze naturali e si sono concentrati sugli aspetti tecnologici, sui progressi e sulle sfide che la carne coltivata deve affrontare. Nel frattempo, un numero crescente di studi di scienze sociali si è concentrato su argomenti sociologici, filosofici, morali ed etici relativi alla questione (Pluhar 2010; Chiles 2013; van der Weele e Driessen 2013; Welin 2013; Marcu et al. 2015). Ad oggi, non è ancora noto come i consumatori reagiranno a questa nuova tecnologia e quali condizioni saranno disposti ad accettare per adottare questo nuovo alimento (Verbeke et al., 2015). Ridurre il consumo di carne in Europa non è facile, poiché molti consumatori europei considerano la carne un elemento essenziale della loro identità e delle loro tradizioni e non sono quindi disposti a ridurre il consumo (Bryant, 2019). Sebbene sia probabile che i consumatori diano meno importanza alla questione finché il prodotto non è disponibile, conoscere la percezione dei consumatori è indispensabile per la futura accettazione da parte del mercato. Sono ancora pochi gli autori che studiano le percezioni dei consumatori riguardo alla carne coltivata (Palmieri et al., 2020) ed è necessario comprendere la percezione dei consumatori nei differenti contesti nazionali. In linea con la discussione precedente, il presente articolo si propone di indagare la

propensione dei consumatori all'acquisto di carne sintetica e definire i principali fattori che influenzano l'intenzione ad assaggiarla e integrarla nelle loro diete.

3 Metodologia

Per rispondere all'obiettivo della ricerca e investigare le percezioni dei consumatori italiani sulla carne coltivata è stata svolta un'indagine empirica utilizzando un approccio quantitativo.

La raccolta dati è avvenuta mediante la somministrazione di un questionario ad un campione di 136 individui. Il campione è stato selezionato attraverso lo snowball approach (Guido, 1999; Mugion et al., 2017).

Il questionario è stato sviluppato prendendo in considerazione scale già validate in letteratura. Nello specifico è stata utilizzata una scala Likert a 7 posizioni (1= "Pienamente in disaccordo" a 7= "Pienamente d'accordo") tramite cui gli intervistati dovevano indicare il loro grado di accordo/disaccordo rispetto a determinate affermazioni.

Nello specifico, si compone di 4 sezioni: nella prima sezione è stato chiesto agli utenti di rispondere a domande di natura demografica. La seconda contiene domande relative ai comportamenti alimentari e ha l'obiettivo di conoscere l'alimentazione preferita dal campione nonché la frequenza con cui si consuma carne e l'intenzione a ridurre tale alimento.

È stato poi richiesto agli utenti di rispondere a domande relative alla carne sintetica al fine di identificare la loro conoscenza verso tale alimento.

Nell'ultima sezione sono stati posti quesiti volti a conoscere l'influenza di determinate variabili sulla propensione al consumo di carne. Sulla base della letteratura esistente, sono state poste domande riguardanti aspetti che si ritiene possano influenzare la propensione da parte dei consumatori a provare la carne coltivata. Nello specifico sono state poste domande relative l'attitudine nei confronti della carne coltivata, alle norme soggettive, alle norme personali, al benessere degli animali e alle preoccupazioni ambientali.

L'analisi dell'atteggiamento è necessaria per comprendere la predisposizione delle persone verso determinate azioni, considerando nello specifico il livello di interesse verso la carne coltivata (Ajzen, 1991).

Le norme soggettive rappresentano l'insieme di tutte le pressioni sociali percepite dalle persone nello svolgimento di una determinata azione. Fanno riferimento all'approvazione o disapprovazione di un determinato comportamento da parte di un ambiente sociale significativo, come la famiglia e gli amici (Ajzen, 1991, Onel, 2016).

Le norme personali riguardano invece le aspettative interne di una persona, costruite non sulla base delle opinioni altrui ma sulla base di valori morali interiori (Schwartz, 1968). In letteratura sono presenti diversi studi che osservano la capacità delle norme personali di prevedere vari fattori di comportamento legati alla sostenibilità (Stern, 2000, Thøgersen, 2005, Steg e Vlek, 2009). Questi tipi di norme possono condurre gli individui verso un comportamento sostenibile che ritengono moralmente giusto (Jansson, Marell, & Nordlund, 2010; Onel, 2016).

Infine, ai partecipanti sono state poste domande sul benessere degli animali e sulle preoccupazioni ambientali, al fine di verificare se questi temi possano essere una ragione per cui i consumatori sarebbero più propensi ad assaggiare la carne coltivata (Mancini e Antonioli, 2019; Bryant et al., 2020; Francekovic et al, 2021; Marcus et al., 2022).

Sulla base delle informazioni raccolte sono state svolte analisi statistiche univariate e bivariate, con l'ausilio del software SPSS IBM 17.0 (Muthen and Muthen, 1998), al fine di individuare i fattori principali che influenzano positivamente l'intenzione ad assaggiare la carne coltivata. Nella sezione seguente si espongono i risultati raggiunti.

4 **Discussione dei risultati**

Nella presente sezione vengono descritti i risultati dell'analisi quantitativa. Nella prima parte viene presentata una analisi demografica del campione, seguita da un'analisi sui comportamenti alimentari e sulla conoscenza della carne sintetica. Successivamente, si procede con l'analisi bivariata che individua i principali fattori che influenzano positivamente la propensione all'utilizzo della carne sintetica.

4.1 **Analisi univariata**

4.1.1. *Demografiche*

Il campione è composto da un totale di 136 rispondenti, il 48% circa sono maschi e il 52% femmine. Il 73% circa dei rispondenti ha un'età compresa tra i 20 e i 29 anni come indicato all'interno della figura 1 mentre il 66% possiede un titolo di istruzione superiore (es. università) (figura 2).

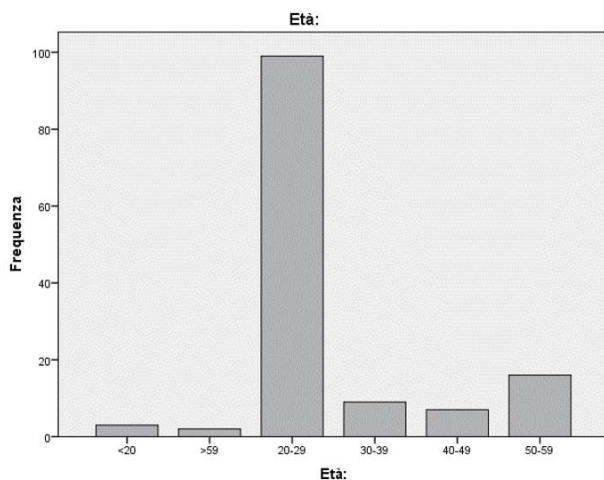


Figura 1 – Età del campione

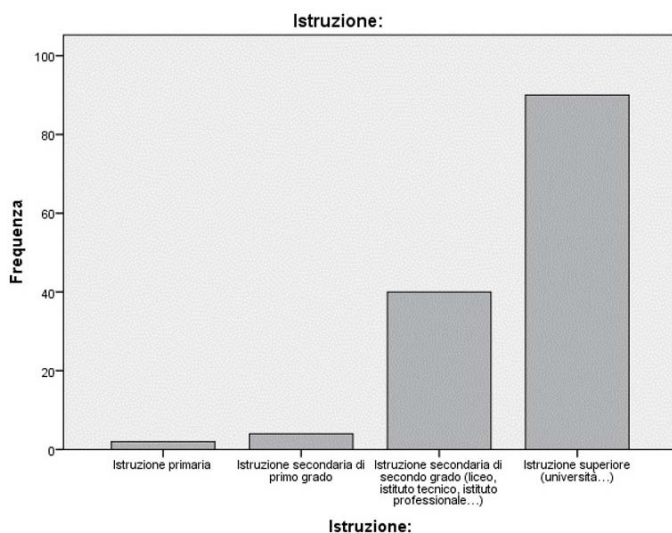


Figure 2 – Livello di istruzione

4.1.2 Comportamenti alimentari

La maggioranza del campione (91% circa) dichiara di essere onnivoro mentre solo una piccola parte di essere semi-vegetariano (5%), vegetariano (2%) e pescetariano (1.5%) come mostrato in figura 3.

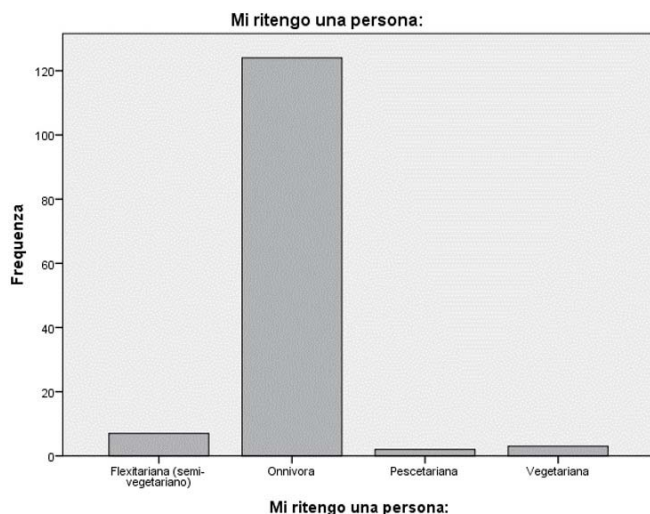


Figure 3 – Alimentazione preferita

Il 45% dei rispondenti dichiara di mangiare carne 3 o 4 volte a settimana, il 32% 1 o 2 volte a settimana, il 15% 5 o più volte a settimana, il 6% qualche volta al mese e l'1.5% mai (figura 4).

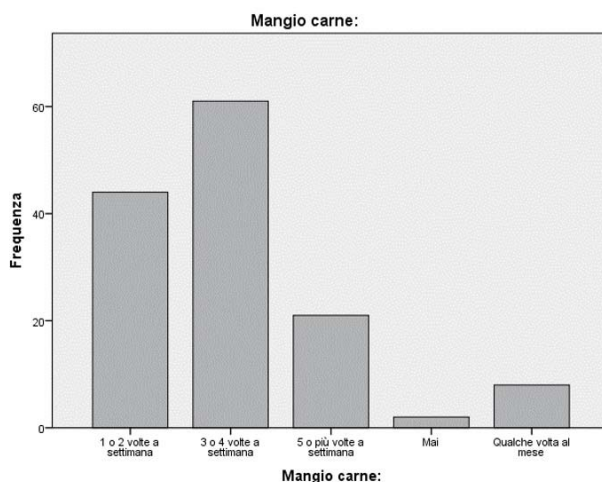


Figure 4 – Frequenza di utilizzo della carne
Come mostrato all'interno della figura 5 il 28% del campione non

dimostra di avere intenzione di ridurre il consumo di carne mentre solo il 12% sembra essere intenzionato a farlo.

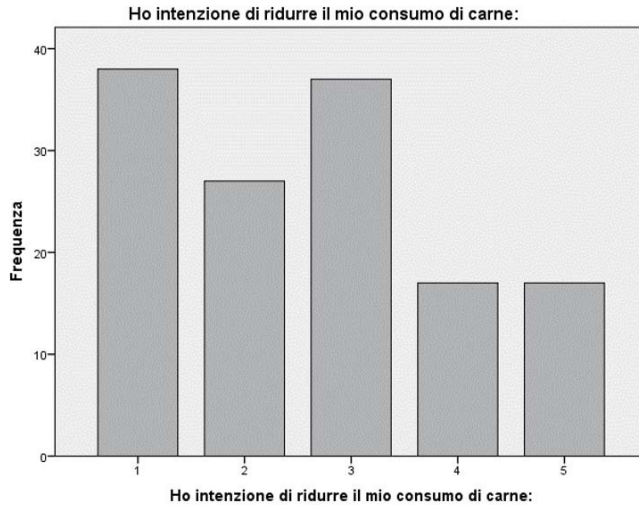


Figure 5 – Intenzione a ridurre il consumo di carne

Guardando la figura 6 è poi possibile affermare che il campione si divide all'incirca a metà tra chi ha sentito già parlare di carne coltivata (38% sommando le risposte 4 e 5) e di chi non ne ha mai sentito parlare (40% sommando le risposte 1 e 2).

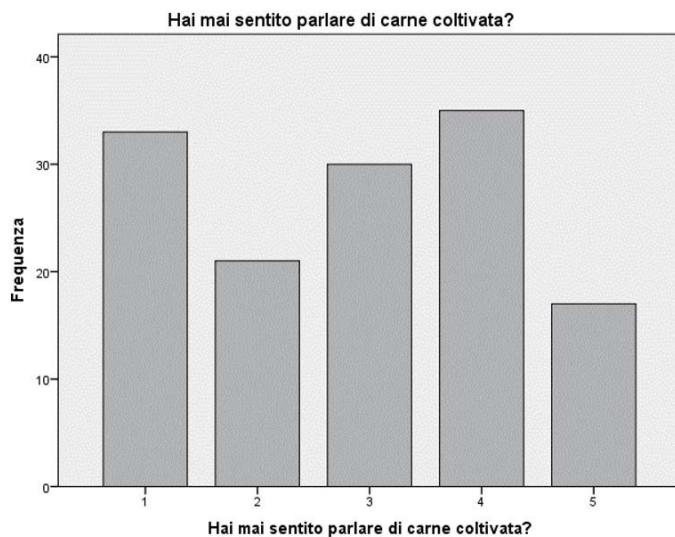


Figure 6 – Conoscenza della carne coltivata

Infine, all'incirca la totalità del campione (88% circa sommando le risposte con punteggi 4 e 5) è interessato alla propria salute.

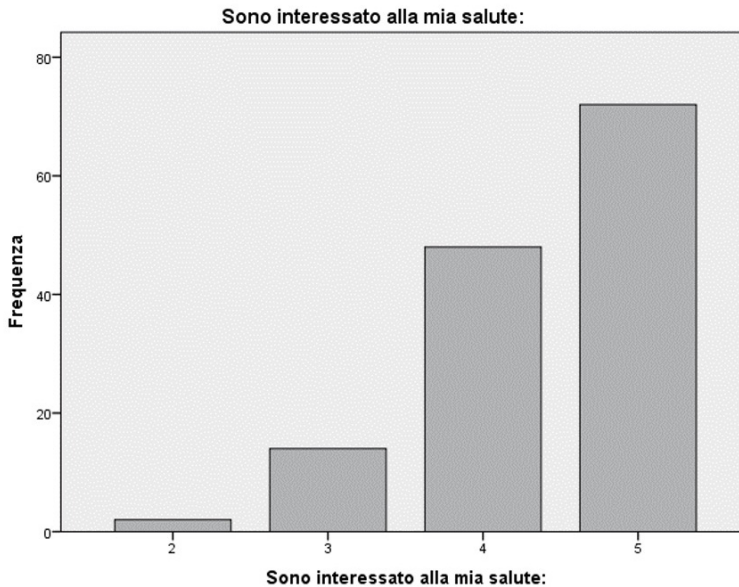


Figure 7 – Interesse nei confronti della propria salute

4.2 Analisi bivariata

4.2.1 *Alpha di Cronbach*

L'Alpha di Cronbach viene utilizzato per valutare l'affidabilità delle scale utilizzate all'interno di un questionario. Una scala è affidabile quando è in grado di rappresentare sistematicamente il fenomeno in modo coerente nel tempo e quando il valore di α è superiore a 0.7. Attraverso l'utilizzo del software SPSS si è proceduto a misurare l'Alpha per ogni aspetto indagato rilevando che esso è superiore allo 0.7 per tutte le dimensioni (tabella 1).

	Alpha di Cronbach
Norme personali	0.826
Atteggiamento	0.800
Norme soggettive	0.847
Benessere animali	0.898
Preoccupazioni ambientali	0.869

Tabella 1 – Alpha di cronbach

4.2.2. *Analisi fattoriale*

L'analisi fattoriale è una tecnica statistica che viene applicata per sintetizzare le informazioni studiando le interrelazioni presenti tra le variabili. L'obiettivo dell'analisi è quello di restituire un numero ridotto di variabili latenti (fattori) ottenute da combinazioni lineari delle variabili originarie. L'analisi fattoriale permette di distinguere il contributo proprio di ognuna delle variabili da quello condiviso in quanto più variabili potrebbero infatti fornire la stessa informazione.

In questo studio si è proceduto prima a svolgere un'analisi dei componenti principali senza utilizzare alcuna rotazione per selezionare il numero dei fattori da utilizzare per poi procedere ad una seconda analisi utilizzando il metodo della massima verosimiglianza e la rotazione VARIMAX.

Prima di svolgere l'analisi fattoriale è necessario investigare se esiste una correlazione tra i fattori e per farlo vengono utilizzati due test: il test di sfericità di Bartlett che verifica che le variabili siano non correlate ed il test di Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), il quale fornisce informazioni sull'adeguatezza del campione (tabella 2). Per procedere con l'analisi è necessario che il test di Bartlett fornisca un valore alto ed un Pvalue <0.5 per rigettare l'ipotesi nulla di non correlazione, in questo caso il Pvalue=0, quindi accettabile. Il test KMO deve invece fornire un valore superiore a 0.7 in quanto altrimenti la correlazione fra le coppie di variabili non potrebbe essere spiegata da altri fattori e l'analisi fattoriale non potrebbe essere condotta, in questo caso il test fornisce un valore pari a 0.863, è quindi possibile procedere con le analisi.

Test di KMO e Bartlett		
Misura di Kaiser-Meyer-Olkin di adeguatezza del campionamento.		,863
Test della sfericità di Bartlett	Appross. Chi-quadrato	1620,883
	gl	136
	Sign.	,000

Tabella 2 – Test di kmo e bartlett

Si procede poi a verificare le comunaltà che forniscono informazioni relative all'ammontare di varianza spiegata dai fattori comuni e in particolare tutti i valori devono essere superiori a 0.4. Dall'analisi emerge che ogni variabile inserita supera il valore soglia stabilito, è quindi possibile continuare l'analisi e stabilire i fattori.

Attraverso la tabella 3 è possibile individuare il numero dei fattori da estrarre. In particolare, vengono presi in considerazione quei fattori che presentano un valore Eigenvalue (varianza totale spiegata da ogni fattore) superiore ad uno e che permettono di spiegare almeno il 60% della varianza. In questo caso sembra opportuno scegliere tre fattori.

Varianza totale spiegata						
Componente	Autovalori iniziali			Caricamenti somme dei quadrati di estrazione		
	Totale	% di varianza	% cumulativa	Totale	% di varianza	% cumulativa
1	7,222	42,484	42,484	7,222	42,484	42,484
2	2,754	16,200	58,684	2,754	16,200	58,684
3	1,598	9,402	68,086	1,598	9,402	68,086
4	1,032	6,072	74,157	1,032	6,072	74,157
5	,850	5,001	79,158			
6	,550	3,233	82,391			
7	,470	2,767	85,157			
8	,415	2,443	87,600			
9	,378	2,225	89,825			

10	,310	1,822	91,647			
11	,304	1,789	93,437			
12	,285	1,677	95,114			
13	,208	1,226	96,341			
14	,185	1,091	97,432			
15	,182	1,074	98,505			
16	,153	,899	99,404			
17	,101	,596	100,000			
Metodo di estrazione: Analisi dei componenti principali.						

Tabella 3 – Varianza totale spiegata

Scelto il numero di tre fattori si procede con l'applicazione del metodo della massima verosimiglianza e della rotazione VARIMAX per individuare l'appartenenza di ogni item a ciascun fattore. Nello specifico si osserva il valore di ogni factor loading (correlazione tra le variabili ed i fattori) per verificare che non siano inferiori allo 0.4 e che un item non "giri" su più fattori.

Infine, i fattori vengono nominati in base agli item che "ruotano" sugli stessi, il significato dei fattori latenti deriva dalle variabili osservate a cui il fattore è maggiormente correlato. I fattori finali sono presentati all'interno della tabella 4.

Fattore	Nome
1	Percezione di impatti positivi su ambiente e salute
2	Attenzione alla sostenibilità
3	Accettazione sociale della carne sintetica

Tabella 4 – Nome dei fattori

4.2.3. Regressione lineare multipla metodo Stepwise:

La regressione multipla Stepwise viene utilizzata per esaminare se esiste una relazione tra i tre fattori estratti (variabili indipendenti x) e l'intenzione dei rispondenti a provare la carne sintetica (variabile dipendente y).

La tecnica Stepwise prevede che si parta da un modello vuoto (senza predittori), a cui ad ogni step dell'analisi viene inserita una variabile che,

tra quelle che soddisfano il livello di significatività 0.05 scelto per l'entrata del predittore, possiede il Pvalue più basso. Allo stesso tempo vengono eliminate quelle che non contribuiscono più in modo significativo alla spiegazione della variabilità della y. Il processo termina quando non esistono più predittori da inserire nel modello. Dalla tabella 5 è possibile verificare quali variabili vengono immesse e rimosse dal sistema, nello specifico che tra le 3 variabili inserite nessuna viene successivamente eliminata, al primo step viene inserito il fattore 1, al secondo il fattore 3 e al terzo il fattore 2.

Variabili immesse/rimosse ^a			
Modello	Variabili immesse	Variabili rimosse	Metodo
1	REGR factor score 1 for analysis 1	.	Stepwise (criteri: Probabilità-di-F-da-inserire \leq ,050, Probabilità-di-F-da-rimuovere \geq ,100).
2	REGR factor score 3 for analysis 1	.	Stepwise (criteri: Probabilità-di-F-da-inserire \leq ,050, Probabilità-di-F-da-rimuovere \geq ,100).
3	REGR factor score 2 for analysis 1	.	Stepwise (criteri: Probabilità-di-F-da-inserire \leq ,050, Probabilità-di-F-da-rimuovere \geq ,100).
a. Variabile dipendente: Intenzione - Ho intenzione di: [Provare la carne coltivata]			

Tabella 5 – Variabili immesse e rimosse

Nella tabella 6 è possibile individuare il valore dell'R-quadro adattato per ogni step. Nell'ultima fase della procedura si ottiene un valore pari al 58%, ovvero il 58% della variabilità dell'intenzione a provare la carne coltivata è spiegata dalla relazione lineare con le variabili presenti nel modello.

Riepilogo del modello ^d										
Modello	R	R-quadro	R-quadro adattato	Errore std. della stima	Statistiche delle modifiche					Durbin-Watson
					Modifica R-quadro	Modifica F	gl1	gl2	Sign. Modifica F	
1	,590 ^a	,348	,343	1,136	,348	71,443	1	134	,000	

2	,732 ^b	,535	,528	,962	,187	53,638	1	133	,000	
3	,768 ^c	,589	,580	,908	,054	17,300	1	132	,000	1,912
a. Predittori: (costante), REGR factor score 1 for analysis 1										
b. Predittori: (costante), REGR factor score 1 for analysis 1, REGR factor score 3 for analysis 1										
c. Predittori: (costante), REGR factor score 1 for analysis 1, REGR factor score 3 for analysis 1, REGR factor score 2 for analysis 1										
d. Variabile dipendente: Intenzione - Ho intenzione di: [Provare la carne coltivata]										

Tabella 6 – Riepilogo del modello

Dalla tabella 7 è possibile esaminare se le variabili esplicative hanno un qualche effetto statisticamente significativo sulla y (ovvero se esiste un'associazione). Nello specifico si ottiene un valore della statistica test F pari a 63,072 ed un relativo Pvalue uguale a zero, questo risultato porta a concludere che almeno una x è associata alla variabile y.

ANOVA ^a						
Modello		Somma dei quadrati	gl	Media quadratica	F	Sign.
1	Regressione	92,164	1	92,164	71,443	,000 ^b
	Residuo	172,865	134	1,290		
	Totale	265,029	135			
2	Regressione	141,844	2	70,922	76,573	,000 ^c
	Residuo	123,185	133	,926		
	Totale	265,029	135			
3	Regressione	156,119	3	52,040	63,072	,000 ^d
	Residuo	108,911	132	,825		
	Totale	265,029	135			
a. Variabile dipendente: Intenzione - Ho intenzione di: [Provare la carne coltivata]						
b. Predittori: (costante), REGR factor score 1 for analysis 1						
c. Predittori: (costante), REGR factor score 1 for analysis 1, REGR factor score 3 for analysis 1						
d. Predittori: (costante), REGR factor score 1 for analysis 1, REGR factor score 3 for analysis 1, REGR factor score 2 for analysis 1						

Tabella 7 – Anova

Perché il modello funzioni non deve esistere una forte correlazione tra le x e l'indicatore che permette di verificare la presenza di multicollinearità è il VIF (Variance inflation factor) che deve avere un valore inferiore a 5. Nella tabella 8 tutti i valori sono pari circa a 1 si assume quindi che non esiste multicollinearità e l'analisi di regressione può essere svolta. Inoltre, dalla tabella si desume anche una forte evidenza che tutte le variabili inserite nel modello siano associate alla variabile dipendente y . Infatti, i Pvalue associati a ciascun coefficiente di regressione sono tutti significativi avendo valore inferiore a $\alpha=0.05$.

Si può quindi concludere che in base alle analisi svolte i fattori evidenziati (F1, F2, F3) sembrano influenzare positivamente l'intenzione ad utilizzare la carne coltivata, il fattore che ha l'impatto più significativo è il numero uno, seguito da F3 e F2. La stima dell'equazione della retta di regressione è quindi:

$$y = 3,691 + 0,547 F1 + 0,232 F2 + 0,436 F3$$

Coefficienti ^a								
Modello		Coefficienti non standardizzati		Coefficienti standardizzati	t	Sign.	Statistiche di collinearità	
		B	Errore std.	Beta			Tolleranza	VIF
1	(Costante)	3,691	,097		37,899	,000		
	REGR factor score 1 for analysis 1	,881	,104	,590	8,452	,000	1,000	1,000
2	(Costante)	3,691	,083		44,728	,000		
	REGR factor score 1 for analysis 1	,834	,089	,558	9,422	,000	,995	1,005
	REGR factor score 3 for analysis 1	,660	,090	,434	7,324	,000	,995	1,005

3	(Costante)	3,691	,078		47,390	,000		
	REGR factor score 1 for analysis 1	,817	,084	,547	9,770	,000	,992	1,008
	REGR factor score 3 for analysis 1	,663	,085	,436	7,799	,000	,995	1,005
	REGR factor score 2 for analysis 1	,340	,082	,232	4,159	,000	,998	1,002

a. Variabile dipendente: Intenzione - Ho intenzione di: [Provare la carne coltivata]

Tabella 8 – Coefficienti

Attraverso la figura 8 si verifica che l'istogramma supporta l'ipotesi di normalità mentre il grafico a dispersione permette di confermare la fondatezza dell'ipotesi di relazione lineare tra le variabili, in quanto non si rileva alcuna forma funzionale riconoscibile al suo interno.

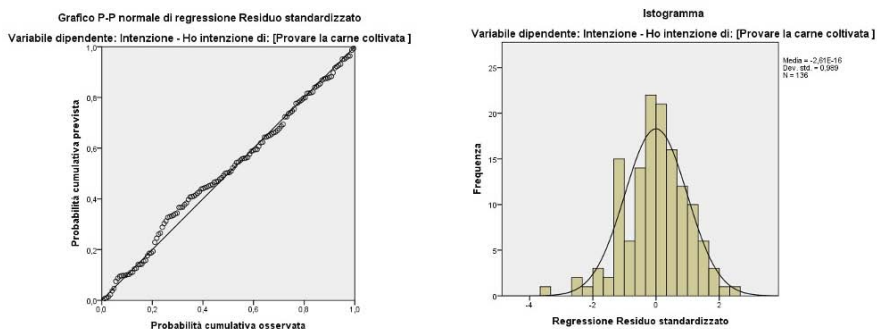


Figura 8 – Grafico scree plot e istogramma

La figura 9 è la rappresentazione grafica di quanto scoperto.

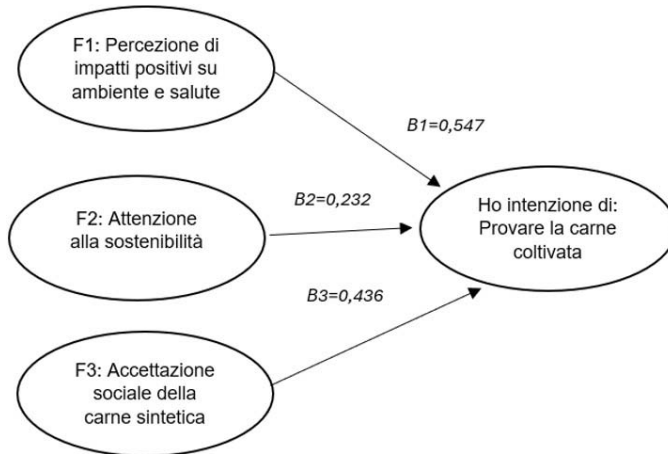


Figura 9 – Modello di regressione

5 Conclusioni

Il presente articolo ha contribuito alle ricerche esistenti investigando la propensione dei consumatori nei confronti della carne coltivata e la loro intenzione a provarla.

Per raggiungere questo scopo è stata utilizzata una metodologia quantitativa attraverso la somministrazione di un questionario ad un campione di 136 consumatori. I dati raccolti sono stati analizzati attraverso analisi statistiche univariate e bivariate.

Nello specifico è emerso che la maggioranza dei rispondenti dichiara di essere onnivora, di mangiare la carne più volte a settimana (da 1 a 4) e di non avere intenzione di rinunciare al suo consumo. Inoltre, circa la metà del campione ha sentito parlare di carne sintetica/coltivata.

Attraverso l'uso dell'analisi fattoriale è stato possibile estrarre tre fattori: *F1-Percezione di impatti positivi su ambiente e salute*, *F2-Attenzione alla sostenibilità*, *F3-Acettazione sociale della carne sintetica*, i quali sono stati utilizzati come variabili indipendenti all'interno di una regressione lineare multipla per verificare se avessero o meno influenza sull'intenzione a provare la carne coltivata. In particolare, è emerso che tutti e tre i fattori sembrano influenzare positivamente l'intenzione e che il fattore che ha l'impatto più significativo è la *percezione di impatti positivi su ambiente e*

salute, seguito da accettazione sociale della carne sintetica e attenzione alla sostenibilità.

È possibile quindi affermare che, se si volesse incentivare l'utilizzo della carne sintetica si dovrebbe agire su queste tre dimensioni, ad esempio, dimostrando che questo tipo di prodotto può avere degli impatti positivi sull'ambiente e sulla salute degli animali e al contempo non danneggiare la salute dell'essere umano. Inoltre, emerge che, se il fenomeno fosse ampiamente accettato dalla società le persone sarebbero più disposte ad utilizzarla.

La ricerca presenta dei limiti che possono essere superati attraverso lo sviluppo di ricerche future. In primo luogo, l'analisi è stata svolta su un campione ristretto di individui e nel solo contesto italiano. Studi futuri potrebbero ampliare il campione e includere altri contesti e Paesi per effettuare dei confronti sulla propensione dei consumatori. Inoltre, in questa ricerca è stato considerato solo il punto di vista del consumatore mentre ulteriori indagini potrebbero includere anche la visione dei produttori di carne sintetica. Infine, potrebbero essere aggiunte altre variabili al modello per arricchirlo ulteriormente con aspetti non indagati nel framework proposto nel presente articolo.

References

- AJZEN, I., 1991. The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Volume 50, pp. 179-211.
- BHAT, Z.F., KUMAR, S., FAYAZ, H. (2015), "In vitro meat production: challenges and benefits over conventional meat production", *Journal of Integrative Agriculture*, Vol. 14 No. 2, pp. 241-248.
- BROOM, D.M. (2021). A method for assessing sustainability, with beef production as an example. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 96(5), 1836-1853. <https://doi.org/10.1111/brv.12726>
- BRYANT, C., BARNETT, J. (2018), "Consumer acceptance of cultured meat: a systematic review", *Meat Science*, Vol. 143, pp. 8-17.
- BULLIET, R.W. (2005). *Hunters, herders, and hamburgers. The past and future of human-animal relationships*. Columbia University Press.
- CAPPER, J.L. (2013). Should we reject animal source foods to save the planet? A review of the sustainability of global livestock production. *South African Journal of Animal Science*, 43(3), 233-246. <https://doi.org/10.4314/sajas.v43i3.1>
- CHILES, R.M. (2013) Interwined ambiguities: meat, in vitro meat, and the ideological construction of the marketplace. *J Consum Behav* 12:472-482. <https://doi.org/10.1002/cb.1447>
- DATAR, I., BETTI, M. (2010). Possibilities for an in vitro meat production system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(1), 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.10.007>
- DEFRANCE, S.D. (2009). Zooarchaeology in complex societies: Political economy, status, and ideology. *Journal of Archaeological Research*, 17(2), 105-168. <http://www.jstor.org/stable/41053260>.
- DELIZA, R., RODRÍGUEZ, B., REINOSO-CARVALHO, F., LUCCHESI-CHEUNG, T. (2023). Cultured meat: a review on accepting challenges and upcoming possibilities. *Current Opinion in Food Science*, 101050.
- FAO (2018), *The Future of Food and Agriculture – Alternative Pathways to 2050*, Technical report, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, available at: <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>.
- FAO, I., UNICEF, WFP, WHO. (2017). *The state of food security and nutrition in the world. Building resilience for peace and food security* (p. 132). FAO.
- FATIMA, N., EMAMBUX, M.N., OLAIMAT, A.N., STRATAKOS, A.C., NAWAZ, A., WAHYONO, A., SHAHBAZ, H.M. (2023). Recent advances in microalgae, insects, and cultured meat as sustainable alternative protein sources. *Food and Humanity*.

- FONT-I-FURNOLS, M., GUERRERO, L. (2022). Understanding the future meat consumers. *Meat Science*, 193, 108941.
- GODFRAY, H.C.J., AVEYARD, P., GARNETT, T., HALL, J.W., KEY, T.J., LORIMER, J., JEBB, S.A. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399), eaam5324.
- HENCHION, M., MCCARTHY, M., RESCONI, V.C., TROY, D. (2014). Meat consumption: Trends and quality matters. *Meat science*, 98(3), 561-568.
- HERRERO, M., CONANT, R., HAVLIK, P., HRISTOV, A.N., SMITH, P., GERBER, P., ET AL. (2016). Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6, 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>.
- HOCQUETTE, A., LAMBERT, C., SINQUIN, C., PETEROLFF, L., WAGNER, Z., BONNY, S.P., LEBERT, A., HOCQUETTE, J.F. (2015), “Educated consumers don’t believe artificial meat is the solution to the problems with the meat industry”, *Journal of Integrative Agriculture*, Vol. 14 No. 2, pp. 273-284.
- KADIM, I., MAHGOUB, O., BAQUIR, S., FAYE, B., PURCHAS, R. (2015) Cultured meat from muscle stem cells: a review of challenges and prospects. *J Integr Agric* 14:222-233. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60881-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60881-9).
- LEIP, A., BILLEN, G., GARNIER, J., GRIZZETTI, B., LASSALETTA, L., REIS, S., SIMPSON, D., A SUTTON, M., DE VRIES, W., WEISS, F. ET AL. Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environ. Res. Lett.* 2015, 10, 115004.
- LEROY, F., PRAET, I. (2015). Meat traditions. The co-evolution of humans and meat. *Appetite*, 90, 200-211. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.03.014>.
- MACDIARMID, J.I., DOUGLAS, F., CAMPBELL, J. (2016). Eating like there’s no tomorrow: Public awareness of the environmental impact of food and reluctance to eat less meat as part of a sustainable diet. *Appetite*, 96, 487-493. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.10.011>.
- MANCINI, M.C., ANTONIOLI, F. (2019). Exploring consumers’ attitude towards cultured meat in Italy. *Meat Science*, 150, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.014>.
- MARCU, A., GASPAR, R., RUTSAERT, P., SEIBT, B., FLETCHER, D., VERBEKE, W., BARNETT, J. (2015) Analogies, metaphors, and wondering about the future: lay sense-making around synthetic. *Public Underst Sci* 24:547-562. <https://doi.org/10.1177/0963662514521106>.

- MATTICK, C.S., LANDIS, A.E., ALLENBY, B.R., GENOVESE, N.J. (2015). Anticipatory life cycle analysis of in vitro biomass cultivation for cultured meat production in the United States. *Environmental science & technology*, 49(19), 11941-11949.
- ORZECZOWSKI, A. (2015) Artificial meat? Feasible approach based on the experience from cell culture studies. *J Integr Agric* 14:217-221. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60882-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60882-0).
- PALMIERI, N., PERITO, M.A., LUPI, C. (2020). Consumer acceptance of cultured meat: Some hints from Italy. *British Food Journal*, 123(1), 109-123.
- POST, M.J. (2012). Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Science*, 92(3), 297-301. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>.
- POST, M.J. (2014), "An alternative animal protein source: cultured beef", *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 1328 No. 1, pp. 29-33.
- RODRIGUES, R.C., PEREIRA, H.S., SENRA, R.L., RIBON, A.D.O.B., DE OLIVEIRA MENDES, T.A. (2023). Understanding the emerging potential of synthetic biology for food science: achievements, applications and safety considerations. *Food Chemistry Advances*, 100476.
- SALMON, G.R., MACLEOD, M., CLAXTON, J.R., CIAMARRA, U.P., ROBINSON, T., DUNCAN, A., PETERS, A.R. (2020). Exploring the landscape of livestock 'Facts'. *Global food security*, 25, 100329.
- SHARMA, S., THIND, S.S., KAUR, A. (2015), "In vitro meat production system: why and how?", *Journal of Food Science and Technology*, Vol. 52 No. 12, pp. 7599-7607.
- SIJPESTIJN, G.F., WEZEL, A., CHRKI, S. (2022). Can agroecology help in meeting our 2050 protein requirements? *Livestock Science*, 256, 104822.
- SIMOES, J., MORAN, D., EDWARDS, S., BONNET, C., LOPEZ-SEBASTIAN, A., CHEMINEAU, P. (2021). Editorial: Sustainable livestock systems for high-producing animals. *Animal*, 15, Article 100371. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100371>.
- STEPHENS, N., DI SILVIO, L., DUNSFORD, I., ELLIS, M., GLENCROSS, A., SEXTON, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010>
- TSOLAKIS, N.K., KERAMYDAS, C.A., TOKA, A.K., AIDONIS, D.A., IAKOVOU, E.T. (2014). Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. *Biosystems engineering*, 120, 47-64.

- TUOMISTO, H.L., TEIXEIRA DE MATTOS, M.J. (2011). Environmental impacts of cultured meat production. *Environmental Science & Technology*, 45(14), 6117-6123. <https://doi.org/10.1021/es200130u>.
- VERBEKE, W., MARCU, A., RUTSAERT, P., GASPARD, R., SEIBT, B., BARNETT, J. (2015). 'Would you eat cultured meat?': Consumers' reactions and attitude formation in Belgium, Portugal and the United Kingdom. *Meat Science*, 102, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.11.013>.
- WILKS, M., PHILLIPS, C.J., FIELDING, K., HORNSEY, M.J. (2019), "Testing potential psychological predictors of attitudes towards cultured meat", *Appetite*, Vol. 136, pp. 137-145.
- ZHANG, C., GUAN, X., YU, S., ZHOU, J., CHEN, J. (2022). Production of meat alternatives using live cells, cultures and plant proteins. *Current Opinion in Food Science*, 43, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.11.002>.
- ZHANG, L., HU, Y., BADAR, I.H., XIA, X., KONG, B., CHEN, Q. (2021). Prospects of artificial meat: Opportunities and challenges around consumer acceptance. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 434-444.

LCA in agricultural experimentation: the case of the tomato production

Giulio Mario Cappelletti
Università di Foggia
Giuseppe Martino Nicoletti
Università di Foggia
Carlo Russo
Università di Foggia

ABSTRACT

This paper shows the methodological issues in assessing environmental sustainability through the life cycle analysis approach of the crop trials carried out in the SOFT (Smart Organic Farming Techniques) project.

The project envisaged 13 wheat-legume-tomato rotation trials for industry under organic cultivation in two different areas to evaluate the impact of the different soil and climatic conditions.

Despite the main use of primary data collected directly during the tests, it was necessary to manage the considerable variability of the data and overcome some limits such as the adoption of two functional units (one hectare of cultivated area and one kilogram of harvested product), the choice of the boundary of the system, the cut off; as well as the data quality rating, the choice of impact categories and the determination of the eco-indicator following the Product Environmental Footprint (PEF).

Furthermore, some methodological choices became necessary during the interpretation and improvement phase, above all during the execution of the scenario analysis, with relative parameterization of some inventory data, and through the sensitivity analysis and the Monte Carlo analysis.

The solution hypotheses adopted can represent a reference for future studies to implement an information system capable of improving the measurement of the environmental sustainability of farms in the context of Productive Organizations through the LCA approach, also bearing in mind the evolution of the sector towards agriculture 4.0 and the creation of organic production districts.

KEYWORDS: Life Cycle Assessment (LCA); Organic Farming; Product Environmental Footprint (PEF); Tomato Crops.

1 Introduction

Measuring and improving the economic, environmental, and social performance of businesses, including agriculture, has become increasingly

relevant in recent decades. A series of suitable tools, including those based on the product life cycle concept Field, have been developed to meet this need (Notarnicola et al., 2017; Sala et al., 2014, 2015). Life cycle assessment (LCA) methodology has increasingly become an established method for assessing environmental sustainability throughout the entire product life cycle across a wide range of different industries (Guinée et al., 2011), including agricultural products and food products (Gava et al., 2019). The LCA methodology is widely recognized as a valuable tool for assessing the potential environmental impact of a product, process, or activity throughout its life cycle. It aims to quantify the use of material and energy resources and emissions generated in the environment associated with the system under assessment. LCA is regulated and standardized internationally by the UNI EN ISO 14040:2021 standards (ISO 14040, 2021) and UNI EN ISO 14044:2021 (ISO 14044, 2021).

In particular, for the agricultural sector, numerous authors have found many difficulties in applying the methodology due to the peculiarity of often non-standardized production (Goglio et al., 2017; Shoaib-ul-Hasan et al., 2021; Fan et al., 2022; van der Werf et al., 2014, Notarnicola et al., 2022). This paper focuses on the methodological issues encountered during the environmental sustainability assessment activities in the SOFT project concerning applying sustainable agronomic models for “organic” production.

2 Methodology

2.1 The experimental plan

The SOFT project’s experimental plan includes 13 industrial wheat-legume-tomato rotation tests, displacing them in two different areas in order also to evaluate the impact of the different pedoclimatic conditions: Subappennino Dauno and Tavoliere delle Puglie.

The field experiments were conducted simultaneously in July 2020–August 2021 in Puglia, in the hilly area of the Dauno Subappennino, and the plain area of the Tavoliere delle Puglie, under organic cultivation. This paper will present only the experimentation on the industrial tomato.

2.2 Impact assessment

As regards the assessment of impacts, the Environmental Footprint 3.0 (E.F. 3.0) proposed the impact categories with relative units of measurement to represent the results in absolute value following Recommendation CE/179/2013 (EC, 2013) and PEF CR ver. 6.3 of 2018 (EC, 2018).

The PEF CR 2018 Guide also suggests considering the fertilizer and

phytosanitary products used in the LCA model, particularly for nitrogen and sulfur used in organic fertilization and the fight against phytopathological adversities. The SOFT project analysis modeled nitrogen emissions as 90% in the agricultural soil sector, 9% in the air, and 1% in the water.

Emissions deriving from the use of fertilizers are differentiated by type of fertilizer and concern in particular:

- NH_3 (ammonia), air (from fertilizer application, N);
- N_2O (nitrous oxide), air (direct and indirect) (from fertilizer application, N);
- CO_2 (carbon dioxide) to the air (from the application of lime, urea, and urea-compounds);
- NO_3 (nitrate) to unspecified water (runoff from fertilizer application, N);
- PO_4 (phosphate) in unspecified water or freshwater (washout and runoff of soluble phosphate from fertilizer application, P);
- P (phosphorus), to unspecified or freshwater (soil particles containing phosphorus from P fertilizer application).

The 2018 PEFCR Guide also suggests that for freshwater eutrophication, the impact should be assessed when phosphorus leaves the agricultural field (runoff) or from the application of manure or fertilizer on the agricultural field.

IPCC 2006 Tier 1 emission factors were used for nitrogen fertilizers.

In the evaluation carried out as part of the SOFT project, the approach proposed by Bentrup et al. (2000) and Nemecek and Kägi (2007) was also considered.

The LCA study also considered the Product Category Rules (PCR) developed in the International EPD® System. This is a program for environmental declarations type III according to UNI EN ISO 14025:2010 (UNI EN ISO 14025, 2010).

As part of the study conducted, with regards to the impact categories, those suggested by the PEF Guidelines were used for the greenhouse effect category (Global Warming) (in absolute value), the distinction based on the following categories:

- 1a greenhouse effect from fossil sources (fossil);
- 1b greenhouse effect from renewable sources (biogenic);
- 1c land use change (land use).

Subsequently, the results expressed in absolute value were multiplied by a normalization factor calculated as a ratio compared to the total impacts generated annually in the geographical context of the European Union. The normalized values were then multiplied by a weighting factor represented by the ratio compared to the EU population (thus obtaining a value per inhabitant). The algebraic sum of the normalized and weighted

values allowed us to obtain a dimensionless aggregate result called “eco-indicator.” This eco-indicator expresses the overall environmental performance for the different SOFT experimental tests and allows for comparing the values between the various impact categories.

2.3 Discussion of results

2.3.1 *The choice of functional unit and system boundaries*

In order to overcome the current limitations of LCA methods, more than one functional unit was adopted (Nemecek et al., 2015; Goglio et al., 2017). Therefore, the selected functional units are:

- one hectare of cultivated area;
- one kilogram of final product (open-field processing tomato).

The reference flows refer to the materials, resources, and energy used to manage the crops subject to the experimentation.

In relation to the study’s objective, the system’s boundaries are “from the farm gate to the gate of the product collection center, and any by-products.”

As regards industrial tomatoes in the open field, the following flows were identified (figure 1):

- in the upstream phase:
 - a. production, packaging, and transport of fertilizers and plant protection products;
 - b. production and transportation of seedlings and seed-producing;
 - c. fuel and lubricants production;
 - d. electricity production;
 - e. production and transport of the mulching film and irrigation system;
 - f. production and maintenance of machinery, equipment, and infrastructure for soil management operations and by-product management;
- in the core phase (agricultural phase):
 - a. soil management (clump breaking, plowing/subsoiling, harrowing, fertilizing, rolling, marking, seedling transplantation, application of foliar treatment);
 - b. irrigation;
 - c. finished product collection;
 - d. transportation of the finished product to the collection center;
 - e. end-of-life management of the irrigation system and mulching film;
 - f. by-product management (shredding);
- in the downstream phase:
 - a. finished product management operations in the collection center;

As seen in Figure 1, the upstream phases were considered in the analysis, except for the production of seedlings and some fertilizer and plant protection products, and the core (agricultural) phase, the downstream phase was excluded. In the inventory phase, a cut-off was applied for all inputs <1% or the impossibility of finding reliable information on their production processes. Furthermore, data quality analysis was carried out according to the PEFCR.

2.3.2 Data collection

The analysis aimed to collect data on the agricultural “core” phase for tomato soil management. This occurred through administering questionnaires and direct acquisition from the agricultural companies that carried out the experimental tests covered by the LCA analysis.

Ecoinvent v.3.3 databases (Frischknecht et al., 2007) were mainly used in the soil management phase and for unavailable data. Specifically, the Ecoinvent v.3.3 database refers to agricultural machinery and equipment production processes.

The emissions resulting from their use were calculated based on the primary data on cultivation operations. From the working hours per hectare information, we could calculate the relative fuel and lubricant consumption and the relative emissions.

Furthermore, the production and use phases of fertilizer and plant protection products were modeled, quantifying the emissions resulting from their use based on some elements that influence the agronomic system.

Specifically, agricultural machinery and equipment production processes refer to the Ecoinvent v.3.3 database.

The emissions resulting from their use were calculated based on the primary data on cultivation operations. We could calculate the relative fuel and lubricant consumption and the relative emissions from the information relating to the working hours per hectare.

Furthermore, the production and use phases of fertilizer and plant protection products were modeled, quantifying the emissions resulting from their use based on some elements that influence the agronomic system.

To calculate the emissions into air (volatilization), water (leaching), and soil (stabilization) of fertilizers, functions, and parameters were used, such as millimeters of rainfall distinguished by summer and winter rainfall, root absorption capacity, and depth. This allowed us to calculate losses to air as ammonia (NH_3), nitrogen (N_2), nitrogen oxides (NO_x and N_2O), and losses to water as leached nitrates (NO_3). For the leaching of phosphates (P) in water, a coefficient of 0.53 was applied to the quantity of phosphorus (P) expressed as P_2O_5 multiplied by 15/110 (i.e., atomic weight P divided by molecular weight P_2O_5). For potassium (K) leaching,

a coefficient of 0.7 was applied to the quantity expressed as K_2O multiplied by $39/94$ (i.e., atomic weight K divided by molecular weight K_2O).

It should be noted that to produce industrial tomatoes, the analysis concerned a very complex agronomic process, which involves a greater use of technological inputs in terms of fertilizers and plant protection products compared to other crops such as durum wheat and legumes. Finally, the peculiarity of organic cultivation, which has as its constraint the use of numerous products/inputs for which the reconstruction of the production process, in most cases protected by patent, has made it impossible to find inventory data. Where, in the processes of the upstream phase, it was not possible to reconstruct the process, not even using estimates or proxy processes, the distance from the production plant to the plot of the experimental field was exclusively considered. This is to include at least the impacts relating to transport in the system.

2.3.3 Inventory problems and specific solutions

Specific solutions were adopted to address issues in industrial tomato production's life cycle inventory construction phase. See below:

- To reconstruct the life cycle of the production of organic fertilizer, in the absence of primary data BASEOS Orga OPT STARTER 5-7-2 Bio, the production of organic matrices was considered by adopting as a proxy process the production of organic fertilizer from by-products of the agri-food industry of Ecoinvent 3.3 ("nutrient supply from vinasse"). For mycorrhiza, an herbaceous production process in protected cultivation of Ecoinvent v.3.3 was considered by applying a ratio of 1 to 5, and a proxy pelletization process deriving from the wood supply chain was adopted to produce fertilizer.
- For the fertilizers Acadian, Toggle, Plantech, Lysodin Calcium E1press, and Prodigy Plus, it was impossible to reconstruct the production process even using proxy data. Therefore, it was necessary to apply a cut-off excluding the production processes from the analysis, and they are only the related transports were taken into consideration;
- For the same reason, a cut-off was applied for the plant protection products Amylo-1, Amylo-1 Lc, Rizocore, Lepino1, Naturalis, Neemazal, Pyganic 1,4, and the production processes were excluded from the analysis. However, only the relative transports were taken into consideration;
- For the plant protection product Cutril Top (Copper), the Ecoinvent 3.3 proxy process of copper hydroxide production was considered $Cu(OH)_2$;

- For the plant protection product, Sulfar (Sulphur), the Ecoinvent v.3.3 proxy sulfur production process was considered;
- For the phytosanitary product Zeolite Serbios 95, the Ecoinvent v.3.3 proxy process for producing rock dust was considered;
- For the plant protection product rock dust, the proxy process of the Sphera[®] dataset (www.sphera.com) was considered;
- The seedling production process was excluded by applying a cut-off and taking into consideration only the related transport;
- For the production of the mulching film (density 50 g/m²) and the overhead pipe (diameter 100 mm PN6), the production process of high-density polyethylene (PE-HD) was considered;
- For the production of the dripping hose (diameter 16 mm PN4), low-density polyethylene (PE-LD) was evaluated. To determine the layout of the irrigation system (and therefore the length and relative mass of pipes), a square plot of 100x100 meters and a distance between the rows of 2 meters was assumed;
- For the production of expanded polystyrene seed trays (plateaus), the proxy process from the Sphera[®] expanded polystyrene production dataset was considered;
- For the overhead tube, a useful life of 10 years was assumed; therefore the relative mass (200 kg) was compared to one year (kg 20);
- For the mulching film (250 kg), the dripping hose (70 kg), the plateau (120 kg), and the annual quota of the overhead pipe (20 kg), the end of life was modeled assuming total recovery for recycling purposes with the “circular footprint formula” adopted within the PEF to calculate the impacts of recycling plastic waste and the impacts avoided by not producing the same plastic materials from virgin raw materials. For the specific process, a recycling parameter of 100% was assumed;
- For irrigation, a withdrawal from groundwater using a submersible electric pump was considered, and the related electricity consumption was estimated at 0.245 kWh/m³. This value represents average data relating to groundwater extraction from a depth of 70-100 meters to feed a storage tank to be introduced into the fertigation system. Furthermore, the quantity of water used was provided by the smart digital irrigation system of the agronomy researchers of the SOFT project. As regards the energy mix, the data published by the GSE and Terna relating to 2021 was taken into account (www.gse.it, www.terna.it);
- For diesel fuel used for agricultural purposes and lubricants, aggregate data was collected, which considered consumption during the time period of the tests. This led to an assumption of hypothe-

ses relating to the quota to be charged, calculated concerning the execution time of each single agricultural practice/operation in the field;

- For the quantification of the CO₂ sequestered by the biomass, the following formula was applied: $[(\text{berry} \times 0.03128) + (\text{total biomass} \times 0.12)] \times 0.6 \times 44/12$; where: berry = yield t/ha; total biomass = weight of roots, stems and leaves; the coefficient 0.03128 = percentage of carbon in the berry; the coefficient 0.12 = percentage of carbon on total biomass; the coefficient 0.6 = estimated rate of carbon sequestration net of the hypothesis of loss into the atmosphere of the difference, in relation to the pedoclimatic conditions of the area being tested; the ratio 44/12 = ratio between the molecular weight of CO₂ and the atomic weight of carbon (Russo et al., 2022). This parameter represents a critical aspect of organic farming since changing parameters changes the convenience of sustainability by adopting the prudential coefficient of 0.6.

2.3.4 Data validation

The next step scores the data quality of core activities according to the guidance of the product environmental footprint (EC, 2018), taking into account:

- technological representativeness for elementary flows and secondary datasets (TEC);
- geographical representativeness for elementary flows and secondary datasets (GEO);
- temporal representativity for elementary flows, activity data, and for secondary data sets (TEM);
- precision for elementary flows and activity data (PRE).

Therefore, the Data Quality Rate (DQR) is calculated as the average of the averages of the values attributed to the quality of the data evaluated and is equal to 1.46. This result meets the minimum requirements from the PEF guidelines, which set the maximum limit of the DQR score at ≤ 1.6 (PEFCR 2018 from 7.19.2 DQR formula).

3 Conclusions

This paper illustrates the methodological issues faced for assessing environmental sustainability calculated by applying the life cycle analysis methodology as part of the SOFT project created in synergy with a cooperative agricultural company in Puglia.

Despite the main use of primary data collected directly during the tests, it was necessary to manage the considerable variability of the data and overcome some limitations specific to the LCA methodology, as described in the previous paragraphs.

The proposed solution hypotheses can undoubtedly represent a reference for all experts in the sector with a view to future projection, especially considering a possible implementation of organic production districts. A further aspect that emerged during the analysis highlighted the need for networking and integration of company data using, for example, new information technologies. Implementing digital systems and IoT (Internet of Things) certainly represents a fundamental necessity to reach the definition of the real sustainability profile that every agricultural company should have.

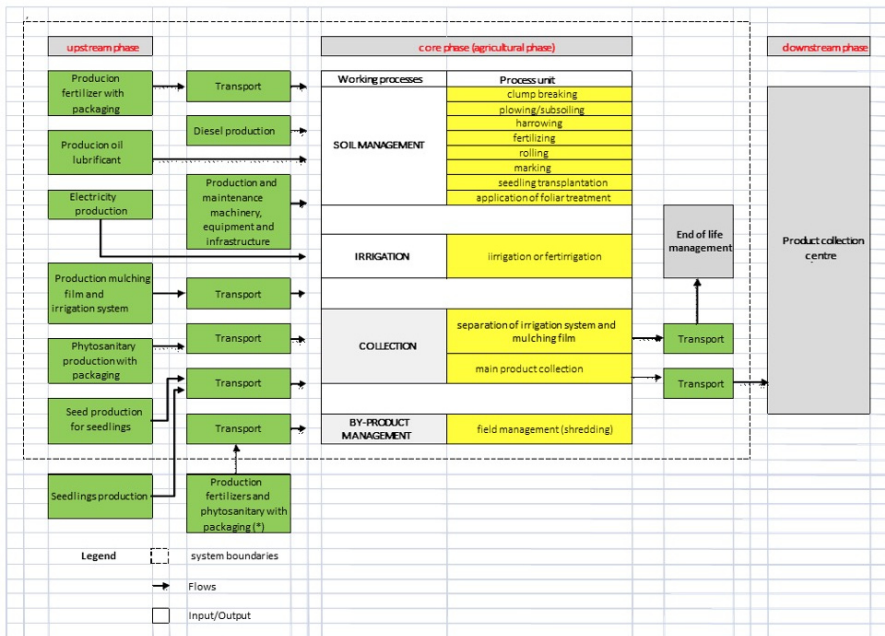


Figure 1 – System boundaries of the industrial tomato agro-ecological model
Source: our own elaboration

References

- BRENTRUP, F., KÜSTERS, J., LAMMEL, J., KUHLMANN, H. 2000. Methods to Estimate on-Field Nitrogen Emissions from Crop Production as an Input to LCA studies in the Agricultural Sector. *International Journal of LCA*, 5, 349-357.
- EC 2013. Recommendations. Commission Recommendation of 9 April 2013 on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organizations (Text with EEA relevance) (2013/179/EU). Official Journal of the European Union.
- EC 2018. European Commission, Environmental Footprint Guidance document, – Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3, May 2018. Available: http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf.
- FAN, J. A.-O., LIU, C., XIE, J., HAN, L., ZHANG, C., GUO, D., NIU, J., JIN, H., MCCONKEY, B.G. 2022. Life Cycle Assessment on Agricultural Production: A Mini Review on Methodology, Application, and Challenges. *LID – 10.3390/ijerph19169817* [doi] LID – 9817.
- GAVA, O., BARTOLINI, F., VENTURI, F., BRUNORI, G., ZINNAI, A., PARDOSSI, A. 2019. A Reflection of the Use of the Life Cycle Assessment Tool for Agri-Food Sustainability. *Sustainability*, 11, 71.
- GOGLIO, P., BRANKATSCHK, G., KNUDSEN, M.T., WILLIAMS, A.G., NEMECEK, T. 2017. Addressing crop interactions within cropping systems in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23, 1735-1743.
- GUINÉE, J., HEIJUNGS, R., HUPPES, G., ZAMAGNI, A., MASONI, P., BUONAMICI, R., EKVALL, T., RYDBERG, T. 2011. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future †. *Environmental science & technology*, 45, 90-6.
- ISO 14040 2021. Environmental management - Life cycle assessment – Principles and framework ISO 14040:2006/Amd 1:2020. Geneva: International Standard Organization.
- ISO 14044 2021. Environmental management – Life cycle assessment - Requirements and guidelines. ISO 14044:20006/Amd 2:2020. Geneva: International Standard Organization.
- NEMECEK, T., HAYER, F., BONNIN, E., CARROUÉE, B., SCHNEIDER, A., VIVIER, C. 2015. Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. *European Journal of Agronomy*, 65, 40-51.

- NEMECEK, T., KÄGI, T. 2007. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Data v2.0. Ecoinvent report No. 15. Available: https://db.ecoinvent.org/reports/15_Agriculture.pdf.
- NOTARNICOLA, B., SALA, S., ANTON, A., MCLAREN, S.J., SAOUTER, E., SONNESSON, U. 2017. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*, 140, 399-409.
- NOTARNICOLA, B., TASSIELLI, G., RENZULLI, P.A., DI CAPUA, R., SAIJA, G., SALOMONE, R., PRIMERANO, P., PETTI, L., RAGGI, A., CASOLANI, N., STRANO, A., MISTRETTA, M. 2022. Life cycle inventory data for the Italian agri-food sector: background, sources and methodological aspects. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.
- RUSSO, C., CAPPELLETTI, G.M., NICOLETTI, G.M. 2022. The product environmental footprint approach to compare the environmental performances of artificial and natural turf. *Environmental Impact Assessment Review*, 95, 106800.
- SALA, S., BENINI, L., MANCINI, L., PANT, R. 2015. Integrated assessment of environmental impact of Europe in 2010: data sources and extrapolation strategies for calculating normalisation factors. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, 1568-1585.
- SALA, S., BENINI, L., MANCINI, L., PONSIOEN, T., LAURENT, A., VAN ZELM, R., STAM, G., GORALCZYK, M., PANT, R. 2014. Methodology for Building LCA-compliant National Inventories of Emissions and Resource Extraction. Background Methodology for Supporting Calculation of Product Environmental Footprint Normalisation Factors and Resource Efficiency Indicators for EU. EUR 26871, 2014. Publications Office of the European Union, Luxembourg (Luxembourg).
- SHOAIB-UL-HASAN, S., ROCI, M., ASIF, F.M.A., SALEHI, N., RASHID, A. 2021. Analyzing Temporal Variability in Inventory Data for Life Cycle Assessment: Implications in the Context of Circular Economy. *Sustainability*, 13, 344.
- UNI EN ISO 14025 2010. Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations - Principles and procedures. Geneva: International Standard Organization.
- VAN DER WERF, H.M.G., GARNETT, T., CORSON, M.S., HAYASHI, K., HUISINGH, D., CEDERBERG, C. 2014. Towards eco-efficient agriculture and food systems: theory, praxis and future challenges. *Journal of Cleaner Production*, 73, 1-9.

The measurement of circularity in the agri-food sector by the UNI/TS 11820:2022

Christian Bux
University of Bari
Biasino Farace
University of Pisa
Andrea Apicella
University of Pisa

ABSTRACT

The measurement of circularity represents an open challenge on the global scale, due to the lack of a harmonized system of indicators and the fragmentation in circular economy definitions. Specifically, in the agri-food sector, it is essential to collect data related to greenhouse gases emissions, water use, energy consumption and waste generation, as well as information related to technological innovation, digitalization and waste management pathways. In November 2022, it was introduced the UNI/TS 11820:2022 on the «Measurement of Circularity – Methods and Indicators for Measuring Circular Processes in Organizations», which represents the first standardization of a set of 71 indicators for the evaluation of the circular economy at micro- and meso-level. The standard provides transparent, replicable and unambiguous tools, and is based on a large circularity perspective, including different approaches such as the life cycle thinking, the material flow analysis, the resource value maintenance and the value recovery. The current research, through an integrative content analysis, identifies the evolution, nature, and scope of the literature on the measurement of circularity in the agri-food sector and recognizes a nexus between the research advances and the UNI/TS 11820:2022. The purpose is to appraise the level of maturity of the current agri-food system and the challenges that agri-food operators and stakeholders will encounter, in order to measure circularity and meet the economic, environmental and social sustainability targets.

KEYWORDS: agri-food sector; circular economy; circularity indicators; environmental accounting; life cycle thinking; UNI/TS 11820:2022

1 Introduction

The agri-food sector is responsible for land and water consumption, as well as for greenhouse gas emissions at the global scale, and the intensive

agriculture harms the environment at severe levels. Latest statistics (Ritchie and Roser, 2021) reveal that half of the habitable land is addressed to agriculture and crop production, for about 60 million km² (Rana et al., 2023), and that about 2.8 Gt of CO₂eq are generated due to crop production for human consumption. In Europe, Italy represents the third largest polluter soon after Germany and France, accounting for about 410 kt of CO₂eq per year (Poore and Nemecek, 2018).

The measurement of circularity in the agri-food sector represents an open challenge, due to the lack of a harmonized system of indicators and the fragmentation in circular economy definitions (Poponi et al., 2023). In November 2022, the Ente Italiano di Normazione (UNI) has published the UNI/TS 11820:2022 on the «Measurement of Circularity – Methods and Indicator for Measuring Circular Processes in Organizations», which is the first technical standard that identifies a set of 71 indicators for the measurement of circular economy. On the basis of previous standards and guidelines, such as the UNI EN ISO 14040:2021 or the UN EN ISO 14067:2018, the UNI/TS 11820:2022 allows for the identification of benchmarking between organizations, as well as the great replicability of the methods. However, the collection of data related to greenhouse gases emissions, water use, energy consumption and waste generation, as well as information related to technological innovation, digitalization and waste management pathways is still complex.

The current research, through an integrative content analysis, identifies the evolution, nature, and scope of the literature on the measurement of circularity in the agri-food sector and recognizes a nexus between the research advances and the UNI/TS 11820:2022. The purpose is to appraise the level of maturity of the current agri-food system and the challenges that agri-food operators and stakeholders will encounter, in order to measure circularity and meet the economic, environmental and social sustainability targets.

2 Methodology

The research adopts a combined approach, as follows: first, the authors in-depth analyze the UNI/TS 11820:2022, focusing on the six groups of indicators suggested by the standard and on selected indicators, as highlighted by previous research on the topic (Amicarelli et al., 2023; Mosconi et al., 2023); secondly, through an integrative literature review (Snyder, 2019) and a content analysis (Khirfan et al., 2020), the authors identify the evolution, nature, and scope of the literature on the measurement of circularity in the agri-food sector and recognize a nexus between the re-

search advances and the UNI/TS 11820:2022. Being the integrative literature review essential to address emerging topics (Torraco, 2005), the purpose of the research is to create a preliminary conceptualization (Snyder, 2019). Figure 1 summarizes the research framework.

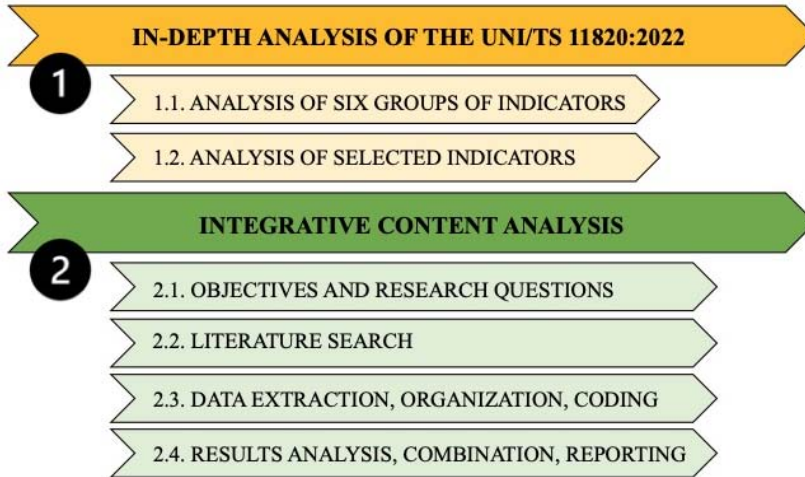


Figure 1 – Research framework and stepwise approach

2.1. Analysis of the UNI/TS 11820:2022 and selected indicators

The UNI/TS 11820:2022 adopts an independent 100-based measurement system and does not provide for a minimum circularity threshold value. It defines a set of indicators applied at the meso and micro level and aims at evaluating the level of circularity of an organization or a group of organization. It is composed of six groups of indicators, as follows: (1) material resources and components; (2) energy and water resources; (3) waste and emissions; (4) logistics; (5) products and services; and (6) human resources, assets, policies and sustainability, for an amount of 71 indicators. The specification distinguishes between «core», which must be calculated by each organization, «specific», which must be calculated at least for the 50% of their number, and «rewarding» indicators, which are optional. Moreover, the indicators can be «quantitative», «semi-quantitative» and «qualitative». Quantitative indicators require the assessment of numerical numerators and denominators, whereas qualitative indicators require a binary answer, namely «yes» or «not». Semi-quantitative indicators associate a certain weight to specific characteristics.

In the light of previous studies on the topic (Amicarelli et al., 2023; Vola et al., 2023), the research explores the literature advances with regards to some circularity indicators per each group, for an amount of 27 indicators (Section 1.2.2.1, Table 1).

2.2. Integrative literature review and content analysis

2.2.1 *Objectives and research questions*

The research begins with the development of the research questions, as follows:

- a. How has the circular economy in the agri-food sector been defined and evolved?
- b. How has the concept of circularity measurement in the agri-food sector been investigated?
- c. Which methods have been implemented to measure circularity in the agri-food sector?
- d. Which indicators have been developed to measure circularity in the agri-food sector?

The purpose of the integrative literature review is to provide a critique and a synthesis of the most relevant literature on the topic, according to narrow and broad research questions and adopting a not systematic search strategy. In addition, based on a qualitative research, the integrative literature review helps develop a framework in the research field (Snyder et al., 2019).

2.2.2. *Literature search*

Building on the research questions and considering the six groups of indicators developed in the UNI/TS 11820:2022, as well as the selected indicators on the basis of previous studies (Section 1.2.1), the research investigates several combinations of keywords on Scopus, with specific regard to academic peer-reviewed research articles and reviews in English, whereas book chapters and conference papers have not been taken into account. Articles have been searched according to a TITLE-ABS-KEY approach (Poponi et al., 2023), by combining different keywords with the purpose of covering as many aspects as possible in the field of circular economy measurement in the agri-food sector. Considering that the standard provides «definitions» and «related definitions» for each indicator, the authors have implemented these keywords in the search process. Table 1 summarizes the selected indicators.

Indicator	Type	Parameter	Variables - Keywords
01 (G1)	Qnt.	Mass	Self-produced secondary materials
02 (G1)	Qnt.	Mass	Raw materials from local suppliers
03 (G1)	Qnt.	Mass	Raw materials with tracking system
04 (G1)	Qnt.	Mass	Renewable raw materials
06 (G1)	Qnt.	Mass	Upcycled materials
07 (G1)	Qnt.	Mass	Renewable or recycled materials for packaging
11 (G2)	Qnt.	Energy	Electricity from renewable sources or recovery
12 (G2)	Qnt.	Energy	Thermal energy from renewable sources or recovery
15 (G2)	Qnt.	Mass	Water from recovery or recycling
17 (G3)	Qnt.	Mass	Urban or special waste to landfill
19 (G3)	Qlt.	Binary	Carbon footprint assessment
20 (G3)	Sqnt.	Mass	Carbon footprint assessment
22 (G4)	Qnt.	Mass	Local recovery facilities
23 (G4)	Qnt.	Mass	Reverse logistics
25 (G4)	Qnt.	Travels	Transport load capacity
28 (G5)	Qnt.	Economic	Green procurement
30 (G5)	Qnt.	Economic	Suppliers with sustainability certifications
31 (G5)	Qnt.	Mass	By-products and co-products
33 (G5)	Qlt.	Binary	Environmental accounting system
35 (G5)	Qnt.	Economic	Products generated according to circular models
42 (G5)	Qlt.	Binary	Agreements and partnerships on the circular economy
43 (G5)	Qlt.	Binary	Investments in circular design for processes
47 (G5)	Qnt.	Mass	Industrial symbiosis
59 (G6)	Sqnt.	Thresholds	Circular economy strategy
60 (G6)	Qlt.	Binary	Transparency and communication
65 (G6)	Qnt.	Economic	Circular good and infrastructures
68 (G8)	Qlt.	Binary	Circular economy training

Table 1 – Indicators, variables and keywords for the literature search

Notes: G = group of indicators; Qnt. = Quantitative indicator;
Qlt. = Qualitative indicator; Sqnt. = Semi-quantitative indicator.

2.2.3. Data extraction, organization and coding

In the third step, the authors have extracted from each source either the manifest (formal) and the latent content. «Manifest» data include: (i) title of the article; (ii) publishing journal; (iii) year of publication; (iv) type of publication (i.e., research article, review article); (v) Sustainable Development Goals (SDGs) mapped in the document; (v) geographic location of the first author (continent, country), whereas «latent» data represents information that cannot be directly observable or measurable and that require in-depth reading and analysis (Khirfan et al., 2020).

2.2.4. Analysis, combination and reporting of data

Subsequently to the data extraction-organization-coding process, the authors have catalogued manifest and latent data into a Microsoft Excel database. The coding process and the subsequent analysis of data, both by using qualitative and quantitative tools, has required a judicious use of human skills and computer assistance to facilitate the identification of data trends and relationships (Khirfan et al., 2020).

3 Results

3.1 Bibliographic results (manifest data)

The integrative content analysis is based on 39 contributions, of which 28 are research articles and 11 are reviews. Figure 2 summarizes the bibliometric information related to the sample.



Figure 2 – Bibliometric results

4 Discussion

One common factor to measure mass indicators is related to the availability, at the organization level, of an environmental and material accounting system. Agri-food companies must adopt complementary methods and approaches, such as the life cycle thinking (LCT), the life cycle assessment (LCA), the life cycle costing (LCC), the social life cycle assessment (S-LCA) and the material flow analysis (MFA), which have in common the compilation and the evaluation through the entire lifecycle of inputs and outputs according to an inventory perspective.

4.1. Material resources and components indicators

Indicator 01 requires agri-food organization to measure the amount of self-produced secondary materials, which are defined as secondary material resources produced within the boundaries of the company and are not purchased or obtained from external suppliers. In the context of dairy farms, Ghisellini et al. (2014) investigate the effects of using self-produced feedstock and manure as fertilizers on the process performance, and data are collected through the use of mixed methods such as the MFA, the cumulative energy demand, the emergy accounting and the LCA.

Indicator 02 regards the measurement of raw materials from local suppliers, which are suppliers located within 100 km of the organization. Bressanelli et al. (2022) investigate the role of the agglomerations of small and medium-sized firms territorially concentrated and specialized in one or more phases of the supply chain (i.e., industrial districts) towards the enhancement of circular economy. The research, conducted in Italy, highlights the importance of local actors and stakeholders in supporting circular economy by reorganizing industrial districts. Some strategies to boost local suppliers should regard customer engagement initiatives, and local institutions (both public and private) should encourage companies in identifying development patterns and mobilizing resources. Under the methodological perspective, companies should develop IT platforms to exchange production, accounting and environmental data, such as energy or water ones, among suppliers and buyers. In addition, the concept of industrial districts has been developed further toward the «bio-district» (Poconi et al., 2023). The development of specific indicators is based on primary data collected through semi-structured interviews among farm managers and secondary data to supplement technical information, such as Ecoinvent or ISMEA statistics.

Indicator 03 refer to the adoption of traceability systems. The UNI/TS 11820:2022 identifies nine pillars to measure and evaluate circularity and among them it lists the «traceability». Although no general agree-

ment exists on the definition of traceability in the academia and in the food industry, the standard defines the concept as the ability to follow the history and the future of resources and materials within a system and identifies the RFID system or the IoT sensors as typical traceability systems. According to Rana et al. (2021), some more traceability tools have been identified in literature, such as barcodes, QR codes and the blockchain, which seems to be the trendiest topic in the field of agri-food traceability. It could help companies store data more securely and make transactions more rapid, by relying on different methods to trace and track materials through the supply chain. Considering the data collection, it can be tracked by recording physical or documental flows, as well as digital or radio frequency identification flows, or blockchain protocols. One definition intends traceability as «recordkeeping systems designed to track the flow of products or product attributed through the production process or supply chain» (Corallo et al., 2020). The research highlights the need to develop technology systems for food traceability to ensure a more efficient data availability and to collect regular, confident and accurate data, and identifies technologies for data recognition such as optical codes or electromagnetic tags, which can be printed or integrated on packaging.

Indicator 04 highlights the need to measure the amount of renewable raw materials, which are defined as resources that, due to their characteristics, are renewed over time and can be considered inexhaustible. Gallo et al. (2023) identify a nexus between circularity and environmental impacts reduction and is based on the use of material circularity indicators and the LCA. The research considers the use of renewable bioresources from the soil and the sea, toward the production of food, materials and energy in the field of the «biological cycle». It builds real case-studies on the basis of real and faithful inventories based on some Environmental Product Declarations (EPD) according to the ISO 14025. Moreover, Kounani et al. (2023) monitor and evaluate circularity in the context of the olive oil industry in the Mediterranean area, highlighting that composite dataset of quantitative and qualitative information are required to develop reliable inventories.

Indicator 06 opens paths for the evaluation of the raw materials addressed to upcycling. If «recycling» is considered as the recovery of waste into products, materials and substances that can be used for their original function (i.e., closed-loop recycling) or other purposes (i.e., open-loop recycling), the «upcycling» is the process of converting secondary outputs into new ones, with a better quality and functionality and/or a higher value. In the light of Streeck et al. (2023), to estimate the material lifetimes, the recycling potentials and the service provision in the agri-food sector, literature widely adopts the dynamic MFA, together with monetary input-out-

put tables (MIOTs). The research states that waste input-output tables, together with MIOTs, can provide the most accurate results both under the material and the economic perspective, and can be useful in identifying the amount (and the economic value) of materials addressed to upcycling. Aschemann-Witzel and Stangherlin (2021) link the concept of valorization and upcycling, which constitutes an important sustainability-oriented innovation practice. Compared to the traditional valorization, the concept of upcycling suggests that the materials reach a greater value than before. The research highlights that the measurement of the value of upcycled materials is estimated through the use of quantitative approaches, such as on-line experimental surveys, semi-structures interviews and field experiments.

Indicator 07 considers the importance of adopting packaging made of renewable or recycled materials, either for the primary, secondary or tertiary packaging. Cristofoli et al. (2023), moving from the need to reduce waste, investigate the opportunities of recovering agri-food waste and by-products such as bagasse, pulps, roots, shells, straws and wastewater for producing biopolymers such as bioplastics, biofilms or paper. The research highlights the need to conduct an LCA, based on a clear and replicable inventory, to prioritize process and product improvements, but also argue on the uncertainties embedded within the results, which should be more reliable, repeatable and representative.

4.2. Energy and water resource indicators

Indicator 11 requires the assessment of the self-generated electricity from renewable sources or recovery. If companies own a photovoltaic plant or a co-generator, which produces electricity, managers should be able to estimate the amount of electricity generated and used within the boundaries of the organization in terms of kWh in a rather simple manner. In addition, the average electricity production of selected photovoltaic plants can be estimated by using official tools, such as the Photovoltaic Geographical Information System (PGIS) database by the European Commission. In addition, as outlined by Priyadarshini and Abhilash (2023), public authorities offer dashboards and data related to energy production from renewable sources, such as wind, solar or biomass, at the country-level.

Indicator 12 requires companies to estimate the amount of self-generated thermal energy from renewable sources or from recovery. Likewise the case of the electricity production, similar considerations can be made for the thermal energy production (Buscemi et al., 2018). For both the electricity and the thermal energy inventory assessment, Ghisellini et al. (2015) provide an application of the life cycle energy assessment (LCEA), which can be intended as a rather useful tool to estimate energy consumption along the entire lifecycle of products or processes.

Indicator 15 requires companies to estimate the amount of water coming from recovery and/or recycling. Poponi et al. (2022) identify the LCA as a topical method for the water resource management, especially in the agri-food sector, for the quantification of the resource used as well as their impacts. Moreover, it outlines the use of the water footprint as a more precise tool for the measurement and the comparison of water consumption among products and processes. Considering electricity, thermal energy and water resource as an «economic input» within organizations, companies could rather easily estimate the amount of the resource consumed, as well as their composition directly into their energy bills.

Indicator 17 refers to the assessment of urban and/or special waste collected separately. Agri-food supply chains should monitor the agro-food-waste system, which is composed of different sub-systems, namely: (i) crop production; (ii) animal production; (iii) food and feed processing; (iv) food consumption; and (v) waste management. Considering that the system combines both food and non-food materials, it means that agri-food companies should consider different waste, from plastics to glass, paper and organic materials. Kleinpeter et al. (2023) illustrate the adoption of the nutrient flow analysis on the basis of primary data collected through interviews or secondary data based on literature (i.e., regional studies and databases). The research distinguishes between different subsystems, as to increase the replicability of the analysis, as follows: crops, livestock, forestry and wood processing, fisheries, processing and distribution of plant and animal inputs, processing and distribution of agri-food products, human living activities, energy production and waste management.

4.3. Waste and emissions indicators

Indicator 19 asks organization to define, through a binary answer, if a carbon footprint has been conducted in the current year and in the past two years. As outlined by Karwacka et al. (2020), the LCA represents the best method for determining the environmental footprint of processes and products. Indicator 20 asks companies to quantitative evaluate the carbon footprint of the inbound materials according to the UNI EN ISO 14067 or to the EPD. It is a semi-quantitative indicator, which distinguishes between four ranges of carbon footprint, from «no carbon footprint» to «carbon footprint of more than 20% of materials incoming into the organization». Rana et al. (2023) estimate the carbon footprint of the artichoke, from the agricultural production to the industrial transformation, according to the lifecycle approach. Shabir et al. (2023) provides a review of the carbon footprint in the agri-food sector, highlighting that information and education campaigns are necessary within organizations, as to conduct carbon footprints that are replicable and reliable in terms of data.

4.4. Logistics indicators

Indicator 22 is a type of quantitative measure that refers to waste treated at local recovery facilities compared to the total waste treated. From a local valorization perspective, the recovery from food waste represents a potential resource for producing value-added materials and avoiding the use of virgin materials (Cristòbal et al., 2018). The research proposes a techno-economic and profitability analysis taking as an example four different types of agri-food products. From the results of the analysis it emerges that not all raw materials offer the same potential, in fact it suggests concentrating production and exploiting economies of scale while running the risk of increasing externalities, e.g. due to logistics.

Indicators 23 and 24, of a quantitative nature, aims to identify which incoming and outgoing resources (products, components, materials) are subject to forms of reverse logistics at the end of their life, compared to the total incoming resources. The literature review by Do et al. (2021) indicates how, in particular regarding perishable items, a very great relevance can be attributed with regards to the problems relating to food loss and waste. It also suggests that with reuse as an objective, a quantitative examination of various supply chain management issues, including logistics, is needed. Finally, it is indicated that the collection and transportation phases are significantly responsible for environmental impacts, so addressing issues related to the logistics of these phases is a crucial point.

Indicator 25 aims to measure the actual load capacity used by means of transport (both outward and return) compared to the total capacity. The research conducted by Kazancoglu et al. (2021) aims to highlight the environmental impacts in relation to reverse logistics activities in the food supply chain by proposing a system dynamics model for assessing green performance. The proposed model is useful for supporting companies both in measuring the efficiency of the distribution network has been designed and managed (detecting for example the percentage of empty trucks and one-way trips as forms of inefficiency) and in discovering the areas where the companies can reduce environmental impact and costs to improve green business performance.

4.5. Products or services indicators

Indicator 28 refers to the economic value of green procurement in the organization, which are defined as «purchasing procedures and processes to acquire goods and services with a lower environmental impact». In line with Gómez-Ramos and Rico Gonzalez (2023), it results that the European Commission has launched a working document to encourage the introduction of green criteria in public procurement toward the enhancement of the ecological transition. Compared to material values, which should be

measured according to suitable environmental and material accounting systems, the economic values (and the value of green investments) should be easily accounted in the traditional bookkeeping. Food procurement refers to food purchasing and foodservice operations, and usually applies to schools, child-care centers, hospitals, nursing homes, public-sector work-sites and other venues where meals are served (Lassen et al., 2023).

Indicator 30 accounts for the economic value of materials purchased from suppliers owning sustainability or circular certifications. Jacobi et al. (2023) provide an interesting overview of sustainability and circular certifications, discussing pros and cons and the most recent trends related to the issue. Considering the need to guarantee transparency, trust and accessibility associated with certifications owned by companies in the market, organizations should easily estimate the value of these purchased, as identified in the traditional bookkeeping. Arcese et al. (2023) discuss the rules for conducting the S-LCA, highlighting the need to clarify the guidelines and expand education programs for managers and professional with and without LCA experience. In addition, as to enhance the measurement of green purchases and circular or sustainable materials, the S-LCA could enlarge the variety of communication tools provided by the organizations.

Indicator 31 refers to the number of co-products generated by the organization compared to the amount of waste, which means that companies should be aware of the great different between waste and co-products, which satisfies, among others, the subsequent requirement: «the substance or object will be used, in the course of the same or a subsequent production or use process, by the producer or by third parties». In this context, Dominguez Aldama et al. (2023) focus on different multifunctionality allocation approaches, for the LCA, for distinguishing between co-products and waste streams in agri-food companies according to the ISO 12044 requirements. Although the economic allocation represents the most used approach, companies should increase their efforts to adopt the mass-based allocation, and should properly define co-products and waste (i.e., definition of the material flow type), cut-off criteria and allocation procedure.

Indicator 33 asks a direct question, namely: «There are accounting systems to measure resources?». Such an indicator, which seems to represent the core of the UNI/TS 11820:2022, defines the accounting systems as «systems that allow companies to autonomously manage the consumption of a resource (for example, the balance of input and output resources)», and indirectly highlights the need to boost inventory analysis, such as the MFA or the material flow cost accounting (MFCA). The MFCA (ISO 14051) traces and quantifies material flows and stock in physical and economic units and has been applied with success in the meat industry in Italy (Bux and Amicarelli, 2023). Moreover, Casson et al. (2023) identify differ-

ent simplified environmental accounting and impact tools, based on Excel (e.g., ALCIG), on specific software (e.g., AgBalance, ALU), web-based (e.g., AppEcoBio) or R package (e.g., Crop.LCA).

Indicator 35 requires the economic quantification of the final products generated according to circular businesses, such as the industrial symbiosis, the eco-design or the agricultural ecosystems. Although Scandurra et al. (2023) have investigated the maturity level of the agri-food sector in terms of circularity through the innovativeness of its practices and have highlighted that there is an incremental and radical innovation, such an indicator appears rather complex to be estimated. Its assessment requires a specific economic evaluation of final products and/or services generated through circular models, and the conventional bookkeeping and the accounting clerks should adopt precise and replicable protocols.

Indicator 42 asks if the organizations have formal partnerships with external stakeholders related to development strategies, sharing knowledge or circular economy. The answer to the quantitative indicator, which is binary, is rather simple. In the field of formal partnerships to pursue sustainability and circularity, Donner and de Vries (2023) state that partnerships of actors are diverse and vary among initiatives, since several enterprises collaborate with public partners, but also on private-private partnerships among service companies for waste collection, large market-sector-oriented industrial partners and small businesses.

Indicator 42 asks if the organizations have formal partnerships with external stakeholders related to development strategies, sharing knowledge or circular economy. The answer, which is binary, is rather simple. In the field of formal partnerships to pursue sustainability and circularity, Donner and de Vries (2023) state that partnerships of actors are diverse and vary among initiatives, since several enterprises collaborate with public partners, but also on private-private partnerships among service companies for waste collection, large market-sector-oriented industrial partners and small businesses.

Indicator 43 requires companies to declare if they have made investments in eco-design of their products (e.g., products that can be disassembled, regenerated, repaired or designed to maintain their value over time). Lehmann et al. (2022) estimate that circular investments have a strong positive impact on sustainability, but governments should promote circular practices by easing the access to funding for SMEs in the field of recycling, repair and innovation. To this extent, companies should clearly distinguish between conventional investments and investments in eco-design, as to properly answer to the question.

From indicator 47 to 55, the UNI/TS 11820:2022 deals with the theme of industrial symbiosis. Such an approach implies the transfer and/or sharing of materials, energy, water and by-products, and/or services. Indi-

icator 47 requires the number of materials entering the organization in terms of weight according to industrial symbiosis principles. According to Hamam et al. (2023), several clusters related to the industrial symbiosis can be identified, such as those which apply the LCA as a method. In addition, based on the industrial symbiosis principles, municipalities and authorities could develop eco-industrial parks, industrial ecosystems and eco-industrial networks in the light of a top-down approach. Taddeo et al. (2017) presents some insights related to the dynamics of the industrial symbiosis in connection with the different industrial contexts.

4.6. Human resource, asset, policy and sustainability indicators

Indicator 59 asks if the organization has developed circular economy strategies according to five different thresholds, from 0% to 100%. Christis et al. (2019) explore the impact of city-level circular economy strategies on climate change, focusing on the case of Brussels. Using the input-output analysis, it quantifies the potential effects of circular economy strategies on the primary material footprint and carbon footprint of households. The study identifies food, housing, and transportation as critical areas, where circular economy strategies can significantly reduce both footprints, potentially mitigating 25% of the carbon footprint and 26% of material footprint. This data can help authorities and policymakers develop effective action plans for resource efficiency and GHG reduction in consumer sectors.

Indicator 60 asks if the organization carries out external communication on its sustainability and circular strategies. Istudor et al. (2020) underscore the importance of examining companies' non-financial performance, focusing on circular economy and bioeconomy concepts. Using an empirical content-based approach, it analyzes sustainability reports from European food retailers. These reports highlight efforts in waste reduction, recycling, and emissions, aligning with circular economy principles. The analysis reveals commendable sustainable practices like waste-to-biogas conversion and plastic recycling but identifies reporting gaps, particularly regarding water consumption.

Indicator 65 requires companies to economically account the amount of goods and infrastructures, which rely on sustainable end-of-life pathways. Lara-Lopete et al. (2022) aim to enhance municipal solid waste management in Latin America. Currently, over 95% of municipal solid waste in the region goes to landfills, causing environmental issues like increased GHG emissions and leachate runoff. The study evaluates three municipal solid waste management approaches: the current system, a high-capacity mechanical sorting facility without biological treatment, and a medium-capacity mechanical sorting facility with composting. Both me-

chanical biological treatment alternatives have the potential to reduce greenhouse gas emissions and abiotic resource depletion compared to the current system. The sensitivity analysis underscores the importance of factors like food and plastic waste fractions in municipal solid waste, recycling, organic waste treatment, and landfill management. Moreover, Mura et al. (2023) examine the environmental and economic benefits of a circular economy approach in the wine industry. By analyzing a small Italian winemaking firm that implements circular practices such as taking back and refurbishing wine packaging components, the study combines LCA and LCC methods. The results demonstrate substantial reductions in greenhouse gas emissions and cost savings achievable through this circular business model.

Indicator 68 requires companies to carry out circular training and education for staff. Fasso et al. (2019) seek to establish a new research framework termed «circular economy for food policy», characterized by systems thinking, transdisciplinary design and promotion of collaborative and integrated governance. In particular, the study explores how circular economy principles and indicators can inform urban food policies, creating a new sustainability-oriented business and policy model. Nika et al. (2021) suggest a collaborative process involving experts and stakeholders to select meaningful circular economy indicators without compromising circular economy principles. The aim is to encourage a holistic approach and broader adoption of circular economy assessment. The research provides a multicriteria decision-making methodology, ensuring the selection of appropriate circular economy indicators based on their interrelationships and priority within a hierarchical structure.

5 Conclusions

The research has evaluated and critically analysed 27 indicators proposed by the UNI/TS 11820:2022 in the light of the previous literature on the topic. Considering the four research questions, it results that the concept of circular economy in the agri-food sector is still blurred, but it has received considerable attention in recent years, with reference to all phases of the supply chain, from agricultural production to industrial processing and distribution. Several authors have tried to identify a dashboard of indicators to measure sustainability and circularity, identifying different scopes for enhancing circularity in the agri-food sector, which represent a clear basis for the application of the UNI/TS 11820:2022 on the measurement of circularity. In the field of the methods adopted, it results that researchers and practitioners have applied LCA and the MFA, together with more recent tools such as the MFCA for the development of replicable and

comparable inventories. In addition, other methods based on Excel, specific software, web-based or R package could be adopted for the environmental accounting. In conclusion, part of the indicators proposed by standard have been already applied in the literature, resulting very clear and already widely disseminated, whereas others are new. Research, education and training by companies is necessary so that the standard can achieve the maximum level of diffusion and applicability.

References

- AMICARELLI, V., BUX, C., 2023. Users' perception of the circular economy monitoring indicators as proposed by the UNI/TS 11820:2022: evidence from an exploratory survey. *Environments* 10 (4), 65. 10.3390/environments10040065.
- AMICARELLI, V., MISINO, E., PRIMICERI, M., BUX, C. (2023). An application of the UNI/TS 11820:2022 on the measurement of circularity in an electronic equipment manufacturing organization in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 420, 138439. 10.1016/j.jclepro.2023.138439.
- ARCESE, G., FORTUNA, F., PASCA, M.G. (2023). The sustainability assessments of the supply chain of agri-food products: The integration of socio-economic metrics. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 40, 100782. 10.1016/j.cogsc.2023.100782.
- ASCHEMANN-WITZEL, J., STANGHERLIN, I.D.C. (2021). Upcycled by-product use in agri-food systems from a consumer perspective: A review of what we know, and what is missing. *Technological Forecasting and Social Change*, 168, 120749. 10.1016/j.techfore.2021.120749.
- BRESSANELLI, G., VISINTIN, F., SACCANI, N. (2022). Circular Economy and the evolution of industrial districts: a supply chain perspective. *International Journal of Production Economics*, 243, 108348. 10.1016/j.ijpe.2021.108348.
- BUSCEMI, A., PANNO, D., CIULLA, G., BECCALI, M., LO BRANO, V. (2018). Concrete thermal energy storage for linear Fresnel collectors: Exploiting the South Mediterranean's solar potential for agri-food processes. *Energy Conversion and Management*, 166, 719-734. 10.1016/j.enconman.2018.04.075.
- BUX, C., AMICARELLI, V. (2022). Material flow cost accounting (MFCA) to enhance environmental entrepreneurship in the meat sector: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Management*, 313, 115001. 10.1016/j.jenvman.2022.115001.
- CASSON, A., ZAMBELLI, M., GIOVENZANA, V., TUGNOLO, A., PAMPURI, A., VIGNATI, S., BEGHI, R., GUIDETTI, R. (2023). Simplified environmental impact tools for agri-food system: A systematic review on trends and future prospective. *Environmental Impact Assessment Review*, 102, 107175. 10.1016/j.eiar.2023.107175.
- CHRISTIS, M., ATHANASSIADIS, A., VERCALSTEREN, A. (2019). Implementation at a city level of circular economy strategies and climate change mitigation – the case of Brussels. *Journal of Cleaner Production*, 218, 511-520. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.180>.

- CORALLO, A., LATINO, M.E., MENGOLI, M., STRIANI, F. (2020). The awareness assessment of the Italian agri-food industry regarding food traceability systems. *Trends in Food Science and Technology*, 101, 28-37. [10.1016/j.tifs.2020.04.022](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.022).
- CRISTÓBAL, J., CALDEIRA, C., CORRADO, S., SALA, S. (2018). Techno-economic and profitability analysis of food waste biorefineries at European level. *Bioresource Technology*, 259, 244-252. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.016>.
- CRISTOFOLI, N.L., LIMA, A.R., TCHONKOUANG, R.D.N., QUINTINO, A.C. (2023). Advances in the Food Packaging Production from Agri-Food Waste and By-Products: Market Trends for a Sustainable Development. *Sustainability*, 15(7), 6153. [10.3390/su15076153](https://doi.org/10.3390/su15076153).
- DO, Q., RAMUDHIN, A., COLICCHIA, C., CREAZZA, A., LI, D. (2021). A systematic review of research on food loss and waste prevention and management for the circular economy. *International Journal of Production Economics*, 239, 108209. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108209>.
- DOMINGUEZ ALDAMA, D., GRASSAUER, F., ZHU, Y., ARDESTANI-JAAFARI, A., PELLETIER, N. (2023). Allocation methods in life cycle assessments (LCAs) of agri-food co-products and food waste valorization systems: Systematic review and recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 102, 107175. [10.1016/j.jclepro.2023.107175](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.107175).
- DONNER, M., DE VRIES, H. (2023). Innovative Business Models for a Sustainable Circular Bioeconomy in the French Agrifood Domain. *Sustainability*, 15(6), 5499. [10.3390/su15065499](https://doi.org/10.3390/su15065499).
- FASSIO, F., MINOTTI, B. (2019). Circular Economy for Food Policy: The Case of the RePoPP Project in The City of Turin (Italy). *Sustainability*, 11, 6078. <https://doi.org/10.3390/su11216078>.
- GALLO, F., MANZARDO, A., CAMANA, D., FEDELE, A., SCIPIONI, A. (2023). Integration of a circular economy metric with life cycle assessment: methodological proposal of compared agri-food products. *International Journal of Life Cycle Assessment*. [10.1007/s11367-022-02130-0](https://doi.org/10.1007/s11367-022-02130-0).
- GHISELLINI, P., PROTANO, G., VIGLIA, S., MAREK, H., SETTI, M., ULGIATI, S. (2014). Integrated agricultural and dairy production within a circular economy framework. A comparison of Italian and Polish farming systems. *Journal of Environmental Accounting and Management*, 2, 367-384. [10.5890/JEAM.2014.12.007](https://doi.org/10.5890/JEAM.2014.12.007).
- GHISELLINI, P., SETTI, M., ULGIATI, S. (2016). Energy and land use in worldwide agriculture: an application of life cycle energy and cluster analysis. *Environment, Development and Sustainability*, 18, 799-837. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9678-2>.

- GÓMEZ-RAMOS, A., RICO GONZALEZ, M. (2023). The contribution of green public food procurement to sustainability: evidence from two case studies in Spain. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 47(8), 1158-1185. [10.1080/21683565.2023.2223555](https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2223555).
- HAMAM, M., SPINA, D., RAIMONDO, M., DI VITA, G., ZANCHINI, R., CHINNICI, G., TÖTH, J., D'AMICO, M. (2023). Industrial symbiosis and agri-food system: Themes, links, and relationships. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. [10.3389/fsufs.2022.1012436](https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1012436).
- ISTUDOR, L.G., SUCIU, M.C. (2020). Bioeconomy and Circular Economy in the European Food Retail Sector. *European Journal of Sustainable Development*, 9(2), 501. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n2p501>.
- JACOBI, J., TOLEDO VÁSQUEZ, D.G., SOLAR ALVAREZ, J.M., BURGI BONANOMI, E. (2023). “First we eat and then we sell”: participatory guarantee systems for alternative sustainability certification of Bolivian agri-food products. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 47(1), 72-99. [10.1080/21683565.2022.2131692](https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2131692).
- KARWACKA, M., CIURZYNSKA, A., LENART, A., JANOWICZ, M. (2020). Sustainable Development in the Agri-Food Sector in Terms of the Carbon Footprint: A Review. *Sustainability*, 12(16), 6463. [10.3390/su12166463](https://doi.org/10.3390/su12166463).
- KAZANCOGLU, Y., EKINCI, E., MANGLA, S.K., SEZER, M.D., KAYIKCI, Y. (2021). Performance evaluation of reverse logistics in food supply chains in a circular economy using system dynamics. *Business Strategy and the Environment*, 30, 71-91. <https://doi.org/10.1002/bse.2610>.
- KHIRFAN, L., PECK, M., MOHTAT, N. (2020). Systematic content analysis: A combined method to analyze the literature on the daylighting (de-culverting) of urban streams. *MethodsX*, 7, 100984. [10.1016/j.mex.2020.100984](https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.100984).
- KLEINPETER, V., ALVANITAKIS, M., VIGNE, M., WASSENAAR, T., LO SEEN, D., VAYSSIÈRES, J. (2023). Assessing the roles of crops and livestock in nutrient circularity and use efficiency in the agri-food-waste system: A set of indicators applied to an isolated tropical island. *Resources, Conservation and Recycling*, 188, 106663. [10.1016/j.resconrec.2022.106663](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106663).
- KOUNANI, A., PAVLOUDI, A., AGGELLOPOULOS, S. (2023). Performance indicators of circular economy in the agriculture and food industry. *Environment Systems and Decisions*. <https://doi.org/10.1007/s10669-023-09942-x>.

- LARA-TOPETE, G.O., YEBRA-MONTES, C., OROZCO-NUNNELLY, D.A., ROBLES-RODRÍGUEZ, C.E., GRADILLA-HERNÁNDEZ, M.S. (2022). An Integrated Environmental Assessment of MSW Management in a Large City of a Developing Country: Taking the First Steps Towards a Circular Economy Model. *Frontiers in Environmental Science*. 10.3389/fenvs.2022.838542.
- LASSEN, A.D., THORSEN, A.V., TROLLE, E. (2023). Current Practices and Opportunities for More Sustainable Public Food Procurement: A Qualitative Study among Danish Municipalities and Regions. *Foods*, 12(10), 1975. 10.3390/foods12101975.
- LEHMANN, C., CRUZ-JESUS, F., OLIVEIRA, T., DAMÁSIO, B. (2022). Leveraging the circular economy: Investment and innovation as drivers. *Journal of Cleaner Production*, 360, 132146. 10.1016/j.jclepro.2022.132146.
- MOSCONI, E.M., COLAIANNI, A., BINI, S. (2023). Economia circolare. Dinamica e gestione delle organizzazioni. Commento alla norma UNI/TS 11820:2022. EPC Editore, Rome, Italy.
- MURA, R., VICENTINI, F., BOTTI, L.M., CHIRIACÒ, M.V. (2023). Achieving the circular economy through environmental policies: Packaging strategies for more sustainable business models in the wine industry. *Business Strategy and the Environment*, 1-18. <https://doi.org/10.1002/bse.3556>.
- NIKA, C.E., EXPÓSITO, A., KISSER, J., BERTINO, G., ORAL, H.V., DEHGHANIAN, K., VASILAKI, V., IACOVIDOU, E., FATONE, F., ATANASOVA, N., KATSOU, E. (2021). Validating Circular Performance Indicators: The Interface between Circular Economy and Stakeholders. *Water*, 13, 2198. <https://doi.org/10.3390/w13162198>.
- POORE, J., NEMECEK, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360, 987-992. <https://doi.org/10.1126/science.aaq0216>.
- POPONI, S., ARCESE, G., PACCHERA, F., MARTUCCI, O. (2022). Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: Selection of indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 176, 105916. 10.1016/j.resconrec.2021.105916.
- POPONI, S., ARCESE, G., PACCHERA, F., MARTUCCI, O. (2022). Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: Selection of indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 176, 105916. 10.1016/j.resconrec.2021.105916.
- POPONI, S., RUGGIERI, A., PACCHERA, F., ARCESE, G. (2023). The circular potential of a Bio-District: indicators for waste management. *British Food Journal*. 10.1108/BFJ-12-2022-1137.

- PRIYADARSHINI, P., ABHILASH, P.C. (2023). An empirical analysis of resource efficiency and circularity within the agri-food sector of India. *Journal of Cleaner Production*, 385, 135660. 10.1016/j.jclepro.2022.135660.
- RANA, R.L., BUX, C., LOMBARDI, M. (2023). Carbon footprint of the globe artichoke supply chain in Southern Italy: From agricultural production to industrial processing. *Journal of Cleaner Production*, 391, 136240. 10.1016/j.jclepro.2023.136240.
- RANA, R.L., TRICASE, C., DE CESARE, L. (2021). Blockchain technology for a sustainable agri-food supply chain. *British Food Journal*, 123(11), 3471-3485. 10.1108/BFJ-09-2020-0832.
- RITCHIE, H., ROSER, M. (2021). Environmental Impacts of Food Production, 2021. <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food#citation>. (Accessed 18 September 2023).
- SCANDURRA, F., SALOMONE, R., CAEIRO, S., GULOTTA, T.M. (2023). The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: A systematic literature review. *Environmental Impact Assessment Review*, 100, 107079. 10.1016/j.eiar.2023.107079.
- SHABIR, I., DASH, K.K., DAR, A.H., PANDEY, V.K., FAYAZ, U., SRIVASTAVA, S., NISHA, R. (2023). Carbon footprints evaluation for sustainable food processing system development: A comprehensive review. *Future Foods*, 7, 100215. 10.1016/j.fufo.2023.100215.
- SNYDER, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339, 104, 333-339. 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.
- STREECK, J., PAULIUK, S., WIELAND, H., WIEDENHOFER, D. (2023). A review of methods to trace material flows into final products in dynamic material flow analysis: From industry shipments in physical units to monetary input-output tables. *Journal of Industrial Ecology*, 27(2), 436-456. 10.1111/jiec.13380.
- TADDEO, R., SIMBOLI, A., MORGANTE, A., ERKMAN, S. (2017). The Development of Industrial Symbiosis in Existing Contexts. Experiences from Three Italian Clusters. *Ecological Economics*, 139, 55-67. 10.1016/j.ecolecon.2017.04.006.
- TORRACO, R.J. (2005). Writing integrative literature reviews: Guidelines and examples. *Human Resource Development Review*, 4, 356-367, 10.1177/1534484305278283.
- VOLA, P., CANTINO, G., GELMINI, L. (2023). Micro-level measurement of the circularity of organizations: the Italian innovative standardized approach applied to a public case study. *European Journal of Social Impact and Circular Economy*. 10.13135/2704-9906/7155.

La percezione dei giovani adulti dell'impatto ambientale del sistema alimentare e la loro disponibilità a modificare la propria dieta verso modelli più sostenibili: uno studio empirico

Barbara Campisi

Università degli Studi di Trieste

Gianluigi Gallenti

Università degli Studi di Trieste

Matteo Carzedda

Università degli Studi di Trieste

Paolo Bogoni

Università degli Studi di Trieste

ABSTRACT

I Rapporti sul cambiamento climatico evidenziano come il 22% delle emissioni globali di gas serra (GHG) provenga da agricoltura, silvicoltura e uso del suolo, cui si aggiungono quelle prodotte dai settori a monte e a valle del settore primario. Ne deriva la necessità di una modifica dei complessivi sistemi alimentari, con interventi dal lato dell'offerta e della domanda, tra cui la modifica delle diete alimentari. Infatti, diete vegetali – con una quantità ridotta di alimenti di origine animale e meno grassi saturi – possono contribuire alla riduzione delle emissioni di GHG rispetto agli attuali modelli alimentari della maggior parte dei Paesi industrializzati.

Lo scopo dello studio è di esplorare, tramite questionario, sulla base della letteratura, la percezione dei giovani adulti dell'impatto ambientale del sistema alimentare e della dieta e la loro disponibilità a modificarla per mitigare gli impatti ambientali. L'indagine è stata condotta su quasi 400 studenti universitari.

I risultati preliminari evidenziano una buona consapevolezza dei rispondenti rispetto alle questioni climatiche, seppure con alcune lacune rispetto agli impatti ambientali del sistema agro-alimentare, nonché una contenuta disponibilità a modificare la propria dieta. Si evidenzia inoltre una differenza di genere nelle attitudini verso le diete sostenibili. Il grado di informazione in merito agli impatti delle diete non emerge ancora in modo certo come variabile esplicativa dei comportamenti, seppure vi siano alcuni elementi che supportano tale ipotesi.

PAROLE CHIAVE: Sostenibilità ambientale; sistema alimentare; giovani adulti; dieta alimentare.

1 Introduzione

L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) nei Rapporti redatti negli ultimi tre decenni, ha progressivamente consolidato le stime riguardo il contributo delle attività antropiche al riscaldamento globale¹ (IPCC, 2023). Secondo l'ultimo Rapporto, oltre all'uso di combustibili fossili ritenuti una delle principali cause dell'aumento della temperatura globale, il 22% delle emissioni GHG proviene dall'agricoltura, dalla silvicoltura e dall'uso del suolo (IPCC, 2023).

Una percentuale che potrebbe salire al 30-40% entro il 2050 per effetto della crescita demografica e dell'incremento della domanda di cibo, in particolare di proteine di origine animale. Inoltre, le attività non agricole delle filiere – quali industria alimentare, imballaggi, trasporto, gestione domestica del cibo e smaltimento dei rifiuti – spingono i sistemi alimentari in cima alla lista delle fonti di gas climalteranti (FAO, 2021).

Da tale scenario deriva la necessità di una profonda riduzione anche delle emissioni derivanti dai sistemi alimentari (Hyland et al. 2017, Horigan et al., 2002; IPCC, 2023; Seconda et al., 2018; Springmann, 2020), e la transizione verso modelli più sostenibili, attraverso una riorganizzazione delle filiere e interventi sia dal lato dell'offerta che della domanda (Govindan, 2018; Scherer & Verburg, 2017). In particolare, diverse ricerche hanno evidenziato, come l'azione di mitigazione climatica dell'offerta agricola sia insufficiente per il raggiungimento della neutralità climatica. Tale obiettivo richiede anche modifiche significative, da parte di una quota rilevante della popolazione mondiale, dei propri modelli alimentari, per orientare l'offerta verso produzioni a minor impatto climatico (Accorsi et al., 2019; Bajželj et al., 2014; Garnett, 2011; Macleod et al., 2019). Studi, basati su modelli di diete o diete effettivamente osservate, hanno evidenziato le relative emissioni climalteranti, positivamente correlate alla presenza di prodotti di origine animale. Pertanto, la modifica della dieta, con maggior apporto di alimenti vegetali, viene proposta come un'importante strategia di mitigazione (Afrouzi et al., 2023; Aston et al. 2012; Bryngelsson et al., 2016; Ulaszewska et al., 2017; Scarborough et al., 2014; Soretet al. 2014).

Altri contributi (van Doren et al., 2014, 2015) hanno messo in luce la duplice funzione, salutistica e di mitigazione climatica, di una modifica della dieta (in particolare con la riduzione delle proteine di origine animale, soprattutto di carne rossa), tra cui uno studio pubblicato su *Lancet* (Willett et al., 2019). Infatti, solo un numero limitato di studi valuta cor-

¹ La probabilità di tale origine delle emissioni globali di gas ad effetto serra, stimata nel 2001 pari al 66%, è cresciuta nel Rapporto del 2007 al 90%, dato consolidatosi al 95% negli ultimi Rapporti (IPCC, 2023).

rettamente l'adeguatezza nutrizionale delle diete, compromettendo in tal modo l'accuratezza della valutazione della sostenibilità (Perignon et al., 2017). Inoltre, la sostenibilità delle diete potrebbe essere aumentata senza richiedere la drastica esclusione di intere categorie di alimenti, rendendole più praticabili per vasti strati della popolazione (Perignon et al., 2017). Infatti, alcune diete esistenti, consumate da una frazione significativa della popolazione, sono state identificate come adeguate dal punto di vista nutrizionale, pur rispettando la diversità alimentare, in quanto tollerano il consumo di una certa quantità di carne e assicurano un ridotto impatto ambientale. In particolare, diversi lavori, hanno dato rilievo alla sostenibilità e salubrità della dieta mediterranea (Castaldi et al., 2022; Castañé. & Antón, 2017; Cavaliere et al., 2023; CIHEAM/FAO, 2015; CREA, 2018; Fresán et al., 2018; Rosi et al., 2020; Serra-Majem et al. 2020; Tepper et al, 2022; Tucci et al., 2022).

Da rilevare però che alcuni contributi mettono in luce come un'elevata qualità nutrizionale sia spesso associata a costi maggiori e rischia di essere correlata ad un maggiore impatto ambientale (Perignon et al., 2017), mentre altri studi (Pais et al., 2022) evidenziano i minori costi di diete a base vegetale. Purtroppo, solo poche ricerche analizzano la sostenibilità economica di tale modifica (Cavaliere et al., 2023), anche in relazione a possibili strumenti fiscali (*meat tax*) (Bonnet et al., 2018), così come si riscontra la scarsità di dati standardizzati e rappresentativi per i prezzi degli alimenti e per gli indicatori ambientali (Perignon et al., 2017).

Questi dati fornirebbero indicatori economico-ambientali di sintesi derivanti dal contesto socio-economico, culturale e demografico, che influenza il comportamento di consumo; consumo che si caratterizza per abitudini e preferenze alimentari consolidate e difficilmente modificabili nel breve periodo (Austgulen et al., 2018; Castellari et al., 2019; Bazoche et al., 2023; Edenbrandt & Lagerkvist, 2021; Edenbrandt et al., 2021; Vieux et al., 2018). Infatti, non va dimenticato che, nel processo di globalizzazione, persistono modelli di consumo differenziati sia nei diversi Paesi sia all'interno di questi, in funzione delle condizioni di contesto in cui vive il consumatore (de Boer et al., 2016; Pucci et al., 2022). Al riguardo, mentre molti studi sono stati condotti in Paesi dell'Europa centro-settentrionale e del Nord America, solo un numero limitato è stato realizzato in Italia (Benvenuti et al., 2022; Cavaliere et al., 2023; Farchi et al., 2017; Vinci et al., 2022; Vineis et al., 2021).

Parimenti, limitata attenzione ha avuto l'analisi specifica dell'accettabilità e soddisfazione da parte dei consumatori di una modifica della dieta (Atta-Delgado et al., 2023; Bonnet et al., 2018; Harguess et al., 2020; Hartmann & Siegrist, 2017; Sanchez-Sabate & Sabaté, 2019).

In quest'ambito, le evidenze della letteratura una maggiore predi-

sposizione femminile verso diete a minor impatto climatico (Biesbroek et al., 2019; Brunin et al., 2022; Culliford & Bradbury, 2020; Vieux et al., 2020).

Per quanto riguarda l'età ed il livello di istruzione, i risultati sono meno chiari e univoci, seppure diversi lavori evidenzino una diminuzione del consumo di carne tra le persone con maggior livello di istruzione, tra le persone più anziane o i giovani adulti (*Millennial, Zoomer*), in contrapposizione a fasce intermedie di età e a quelle adolescenziali (Campbell et al., 2016; Lehtikoinen & Salonen, 2019; Seconda et al., 2021; Tavoularis & Sauvage, 2018). In particolare, l'informazione specifica, la divulgazione scientifica e l'educazione alimentare, risultano un fattore importante che può influenzare il comportamento del consumatore (Bazoche et al., 2023; Kause et al., 2019).

Infine, occorre notare che sebbene alcuni segmenti di consumatori sembrano più consapevoli dei temi della sostenibilità, nelle indagini conoscitive e negli esperimenti di scelta condotti, le motivazioni di sostenibilità dichiarate non si traducono sistematicamente in comportamenti d'acquisto effettivo (Brunin et al., 2022).

Tale analisi della letteratura suggerisce di approfondire il tema dell'accettabilità di una modifica della dieta verso modelli a minor impatto climatico tra i giovani adulti – generazione Y (*Millennial*) e Z (*Zoomer*) – con livello di scolarizzazione medio-alto, tenendo conto delle differenze di genere e del ruolo dell'informazione in merito agli impatti climatici dei consumi alimentari, quali sono gli studenti universitari. Le evidenze della letteratura sul tema appaiono limitate, fatta salva la *review* di portata più generale di Aguirre Sánchez et al. (2021). Un *gap* di ricerca che appare interessante esplorare.

Tra le analisi specifiche sull'argomento, lo studio di Slotnick et al. (2022), condotto tra alcune centinaia di studenti universitari statunitensi, evidenzia come la riduzione del consumo di carne sia considerata meno preferita rispetto al riciclo degli scarti e la riduzione dell'uso della plastica. Parzialmente diversi i risultati della ricerca condotta in Europa su un centinaio di studenti della Repubblica Ceca (Šedová et al., 2016), ove gli intervistati, pur non considerando il consumo di carne indesiderabile, sono ben consapevoli delle questioni etiche e ambientali a esso correlate, e significativamente influenzati dai loro pari (amici o compagni di studio) se orientati a consumi maggiormente sostenibili. Il rifiuto della carne sembrerebbe emergere quindi come una norma sociale che influenza il comportamento individuale.

Lo scopo del presente studio è stato, pertanto, quello di esplorare, tramite un'indagine diretta, con somministrazione di un questionario, la percezione degli studenti universitari riguardo all'impatto climatico del si-

stema alimentare e della dieta e la loro disponibilità a modificare quest'ultima orientandosi verso modelli maggiormente sostenibili.

2 Metodologia

L'indagine è stata condotta presso gli studenti dell'Università degli Studi di Trieste, un ateneo con offerta generalista con diverse aree di studio, di medie dimensioni, con quasi 17.000 iscritti ai diversi livelli formativi.

L'indagine è stata realizzata predisponendo un questionario, preventivamente discusso con un focus group, articolato in 4 sezioni, per un totale di 14 domande relative a²:

- A) profilo socio-demografico del rispondente: genere; età; livello di istruzione; luogo abituale di residenza o domicilio; area di studio universitaria³;
- B) dieta corrente seguita;
- C) atteggiamento rispetto l'impatto climatico dei sistemi agroalimentari e le strategie di mitigazione; con risposte graduate su scala Likert (Totalmente in disaccordo; In disaccordo; Né d'accordo né in disaccordo; Concordo; Totalmente d'accordo; Non so);
- D) disponibilità a modificare la propria dieta.

Nel questionario è stata proposta una serie di diete standard tra cui scegliere sia per individuare quella più simile al modello alimentare attualmente seguito (sezione B) sia per sceglierne una maggiormente sostenibile (sezione D). La scelta delle diete è stata effettuata con riferimento a quelle maggiormente utilizzate in letteratura, fatti salvi alcuni adattamenti (Afrouzi et al., 2023; Atta-Delgado et al., 2023; Bryngelsson et al., 2017; Castañé & Antón, 2017; Perignon et al., 2017; Serra-Majem et al., 2020; van Doren et al., 2014) (cfr. figg. 1a, 1b).

Analogamente per le opzioni di mitigazione si è fatto riferimento a studi analoghi presenti in letteratura, tra cui Culliford & Bradbury (2020), Slotnick et al. (2022).

² Nella sezione risultati, cui si rimanda, sono riportate le domande specifiche contenute nel questionario.

³ "Scienze sociali e umanistiche": studi umanistici, linguistici, economici ed aziendali, socio-politologici e giuridici; "Tecnologica e quantitativa": studi di ingegneristica, architettura, fisica, matematica e statistica; "Ambientale" corsi di scienze dell'ambiente e della terra; "Scienze della vita e della salute" studi di medicina, psicologia, farmacia, chimica e biologia.

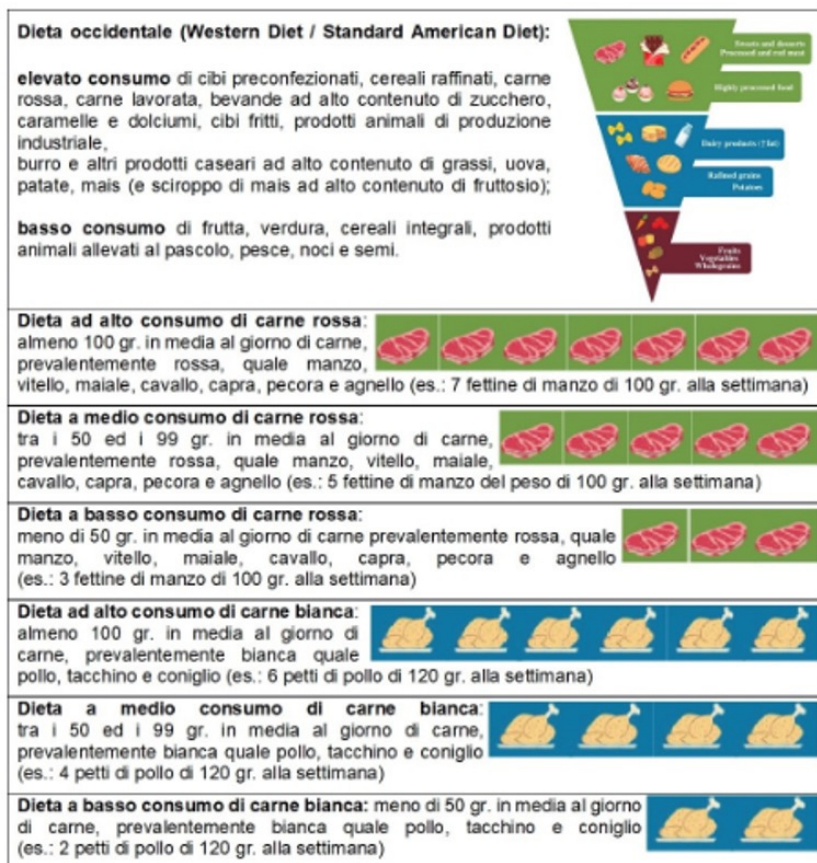


Figura 1a – Modelli di diete proposte nel questionario



Figura 1b – Modelli di diete proposte nel questionario

Inoltre, al fine di stimare gli effetti dell'informazione scientifica sul comportamento del consumatore, il questionario on-line forniva, in modo casuale solo ad una parte dei rispondenti (ai nati in giorno dispari), le informazioni sulla capacità di mitigazione di alcune diete desunte dall'ultimo Rapporto dell'IPCC (IPCC, 2023) (fig. 2).

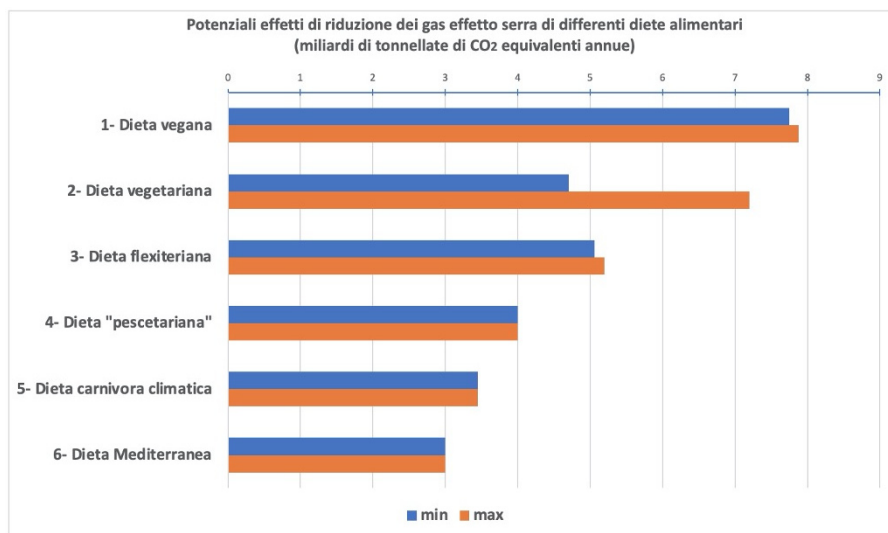


Figura 2 – Capacità di mitigazione di alcune diete

Fonte: elaborazione degli autori da IPCC, 2023

Il questionario, rigorosamente anonimo, è stato reso autocompilabile on-line sulla piattaforma EUSurvey della Commissione europea; il tempo di risposta è stato stimato in 10-15 minuti. L'invito alla compilazione è avvenuto in aula, via mail, selezionando in modo casuale gli indirizzi degli studenti dalla directory di posta elettronica istituzionale, e tramite l'invio ad associazioni studentesche. Non è stata prevista alcuna forma di incentivo (economico o non economico) per i rispondenti.

Nel questionario, i rispondenti avevano, inoltre, a disposizione un campo libero per segnalare eventuali problemi di compilazione, di interpretazione del questionario o fornire commenti e suggerimenti per il miglioramento dell'indagine.

3 Discussione dei risultati

Nella prima fase di indagine, condotta dal 21.09.2023 al 29.09.2023 hanno risposto volontariamente 399 studenti; di queste risposte sono state

prese in considerazione sono quelle dei rispondenti rientranti nei *Millennial* (o Generazione Y) – nati tra il 1981 e il 1996 – e negli *Zoomer* (o Generazione Z) – nati tra il 1997 e il 2012 – pari in totale a 385 studenti.

Il profilo socio-demografico dei rispondenti, riportato in tab. 1, si caratterizza per il 56% di rispondenti di genere femminile e il 42% di genere maschile, mentre circa l'1,5% ha preferito non identificarsi per genere. Alla Generazione Y (Gen Y) appartengono poco più del 13% dei rispondenti, mentre prevalgono, con quasi l'87%, gli appartenenti alla Generazione Z (Gen Z). Le aree di studio universitario evidenziano una netta prevalenza di studenti iscritti a corsi delle “Scienze sociali e umanistiche” (quasi il 70%), seguiti dagli iscritti a corsi di area “Tecnologica e quantitativa” e di “Scienze della vita e della salute” (12% entrambe), “Ambientale” (6%).

I rispondenti hanno poi riconosciuto, in netta prevalenza (57%), nella dieta Mediterranea il modello più vicino alla loro dieta corrente (tabb. 2a, 2b).

	Numero	%
Genere:		
Femmina	217	56,4
Maschio	162	42,1
Non dichiarato	6	1,6
Fascia di età:		
Generazione Y – <i>Millennial</i>	51	13,2
Generazione Z – <i>Zoomer</i>	334	86,8
Titolo di studio:		
Diploma di scuola secondaria di II grado	228	59,2
Laurea triennale	110	28,6
Laurea Magistrale	47	12,2
Area di studio universitaria:		
Scienze sociali e umanistiche	268	69,6
Tecnologica e quantitativa	48	12,5
Ambientale	23	6,0
Scienze della vita e della salute	46	12,0

Tabella 1 – Profilo dei rispondenti in base all'anno di nascita e i titoli di studio (Millennial i nati tra il 1981 e il 1996; Zoomer i nati tra il 1997 e il 2012)

Dall'analisi del modello alimentare attualmente seguito (tabb. 2a, 2b), si nota che i modelli ritenuti maggiormente sostenibili dalla letteratura (B8-B13) sono stati indicati nel complesso dall'81% delle studentesse, contro il 67% degli studenti di genere maschile; non si rilevano significative differenze per generazione (GenY, GenZ), mentre l'87% degli iscritti a corsi di area "Ambientale" dichiarano di seguire tali diete, contro il 73%-76% degli altri gruppi di studenti. Un dato che potrebbe denotare una possibile influenza della consapevolezza dell'impatto ambientale delle diete nelle scelte alimentari operate, anche se la numerosità dei rispondenti non è significativa per supportare tale conclusione.

	Totale		Genere				Fascia d'età			
			Maschi		Femmine		Gen Y		Gen Z	
	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%
B1 – Dieta occidentale	24	6,2	13	8,0	10	4,6	3	5,9	21	6,3
B2 – Dieta ad alto consumo di carne rossa	5	1,3	3	1,9	2	0,9	0	0,0	5	1,5
B3 – Dieta a medio consumo di carne rossa	12	3,1	8	4,9	4	1,8	3	5,9	9	2,7
B4 – Dieta a basso consumo di carne rossa	15	3,9	4	2,5	11	5,1	2	3,9	13	3,9
B5 – Dieta ad alto consumo di carne bianca	15	3,9	13	8,0	2	0,9	2	3,9	13	3,9
B6 – Dieta a medio consumo di carne bianca	21	5,5	11	6,8	10	4,6	1	2,0	20	6,0
B7 – Dieta a basso consumo di carne bianca	5	1,3	2	1,2	3	1,4	1	2,0	4	1,2
B8 – Carnivora climatica	12	3,1	7	4,3	5	2,3	2	3,9	10	3,0
B9 – Dieta Mediterranea	221	57,4	85	52,5	133	61,3	24	47,1	197	59,0

B10 – Dieta flexite- riana	28	7,3	7	4,3	20	9,2	7	13,7	21	6,3
B11 – Dieta ‘pesceta- riana’	3	0,8	2	1,2	1	0,5	0	0,0	3	0,9
B12 – Dieta vegeta- riana	15	3,9	3	1,9	11	5,1	4	7,8	11	3,3
B13 – Dieta vegana	9	2,3	4	2,5	5	2,3	2	3,9	7	2,1
	385	100	162	100	217	100	51	100	334	100

Tabella 2a – Modello di dieta alimentare indicata come simile a quella corrente secondo il genere e l'età

Nota: in tab. 2a nella colonna “Genere” non sono riportati i 6 studenti che non l'hanno dichiarato. Per questi studenti le diete più vicine alla loro dieta corrente risultano essere la B1, la B9 (3 studenti), la B10 e la B12

	Area di studio							
	Scienze sociali e umanistiche		Tecnologica e quantitativa		Ambientale		Scienze della vita e della salute	
	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%
B1 – Dieta occidentale	18	6,7	4	8,3	0	0,0	2	4,4
B2 – Dieta ad alto consumo di carne rossa	4	1,5	1	2,1	0	0,0	0	0,0
B3 – Dieta a medio consumo di carne rossa	8	3,0	1	2,1	0	0,0	3	6,5
B4 – Dieta a basso consumo di carne rossa	12	4,5	3	6,3	0	0,0	0	0,0
B5 – Dieta ad alto consumo di carne bianca	8	3,0	2	4,2	3	13,0	2	4,4
B6 – Dieta a medio consumo di carne bianca	18	6,7	1	2,1	0	0,0	2	4,4
B7 – Dieta a basso consumo di carne bianca	3	1,1	0	0,0	0	0,0	2	4,4
B8 – Carnivora climatica	8	3,0	2	4,2	1	4,4	1	2,2
B9 – Dieta Mediterranea	164	61,2	26	54,2	7	30,4	24	52,2

B10 – Dieta flexiteriana	13	4,9	2	4,2	7	30,4	6	13,0
B11 – Dieta ‘pescetariana’	3	1,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0
B12 – Dieta vegetariana	5	1,9	4	8,3	3	13,0	3	6,5
B13 – Dieta vegana	4	1,5	2	4,2	2	8,7	1	2,2
	268	100	48	100	23	100	46	100

Tabella 2b – Modello di dieta alimentare indicata come simile a quella corrente secondo l’area di studio

In merito alle opinioni sul cambiamento climatico e sull’impatto determinato dai sistemi alimentari (tabb. 3a, 3b), le risposte evidenziano:

- una sostanziale concordanza generale dei rispondenti sulla rilevanza del cambiamento climatico (domande C1-C3);
- il 10% di rispondenti si dichiara “Né d’accordo né in disaccordo” o “non sanno rispondere” alle fonti climalteranti di origine antropica e a quelle determinate dal sistema agro-alimentare (domande C2-C3);
- una percentuale significativa di rispondenti (20-30%) si dichiara “Né d’accordo né in disaccordo” o “non sanno rispondere” rispetto alle affermazioni relative alla responsabilità del settore agricolo e dell’industria alimentare per le emissioni climalteranti (domanda C4); in particolare, il 12% non concorda con la responsabilità di emissioni di GHG da parte del settore primario. Se ne deduce che agricoltura e prima trasformazione agricola sono percepite da una percentuale significativa, seppur minoritaria, di studenti come non responsabili o poco responsabili per l’effetto serra.

Per quanto attiene alle strategie di mitigazione si evince che:

- i rispondenti individuano necessario o maggiormente efficace l’intervento sul lato dell’offerta rispetto a quello sulla domanda (domande C5-C6);
- rispetto alle azioni che possono essere attuate dai singoli consumatori le preferenze sono, in ordine di prevalenza, ridurre lo spreco alimentare, acquistare prodotti stagionali, prodotti locali, prodotti sfusi, prodotti con imballaggio riciclabile, prodotti con imballaggio da materiale riciclato (concordano l’80-91% dei rispondenti);
- minor consenso ricevono le opzioni relative ai prodotti biologici (64% di concordanza), riduzione del consumo di prodotti di origine animale (54%), riduzione di cibi ultra-processati (67%), mo-

difica del proprio modello alimentare (56%). Gli ultimi tre aspetti – riduzione del consumo di prodotti di origine animale, di cibi ultra-processati e modifica del proprio modello alimentare – sono stati analizzati in relazione alle principali variabili socio-demografiche quali, genere, età e area di studio (tabb. 4a-4c).

	Concordano		Non concordano		Non sanno / non si esprimono	
	n.	%	n.	%	n.	%
C1 – Il cambiamento climatico è un fenomeno che può determinare dei rischi per la vita umana?	365	95	8	2	12	3
C2 – Il cambiamento climatico è determinato in modo significativo dal comportamento umano?	339	88	7	2	39	10
C3 – Il sistema agro-alimentare nel suo complesso (dalla produzione degli input agricoli fino allo smaltimento dei rifiuti domestici), a livello mondiale, contribuisce in modo importante alle emissioni di gas ad effetto serra?	334	87	11	3	40	10
C4 – Nell'ambito del sistema agro-alimentare, le maggiori emissioni di gas ad effetto serra provengono dalle seguenti attività di produzione e consumo:						
– Produzione agricola	223	58	48	12	114	30
– Trasformazione dell'industriale alimentare	302	78	6	2	77	20
– Trasporto e logistica	329	85	13	3	43	11
– Acquisto, conservazione e consumo domestico, incluso lo smaltimento dei rifiuti e del cibo non consumato (spreco alimentare)	278	72	31	8	76	20
– Uso degli imballaggi	298	77	21	5	66	17

Tabella 3a – Opinioni sul cambiamento climatico, sull'impatto determinato dai sistemi alimentari e sulle strategie di mitigazione (domande C1-C4)

Nota: Concordano = "Totalmente d'accordo" o "Concordo";

Non concordano = "In disaccordo" o "Totalmente in disaccordo";

Non sanno / non si esprimono = "Né d'accordo né in disaccordo" o "Non so"

	Concordano		Non concordano		Non sanno / non si esprimono	
	n.	%	n.	%	n.	%
C5 – Gli interventi per mitigare gli effetti del cambiamento climatico dovrebbero essere fatti sul lato dell’offerta del sistema agro-alimentare	289	75	21	5	75	20
C6 – Gli interventi per mitigare gli effetti del cambiamento climatico dovrebbero essere fatti sul lato della domanda del sistema agro-alimentare	235	61	30	8	120	31
C7 – I consumatori possono mitigare gli effetti del cambiamento climatico proveniente dal sistema agro-alimentare con le seguenti azioni:						
– Acquistare prodotti biologici in misura maggiore	246	64	53	14	86	22
– Acquistare prodotti locali in misura maggiore	344	89	10	3	31	8
– Acquistare prodotti stagionali in misura maggiore	345	90	10	3	30	8
– Acquistare prodotti sfusi (senza imballaggio, es. ortofrutta non confezionata) in misura maggiore	328	85	9	2	48	12
– Acquistare prodotti con imballaggi facilmente riciclabili (ad es. monomateriale) in misura maggiore	326	85	9	2	50	13
– Acquistare prodotti con imballaggio riciclato in misura maggiore	307	80	11	3	67	17
– Ridurre lo spreco alimentare domestico (prodotti acquistati e non consumati)	350	91	6	2	29	8
– Ridurre il consumo di alimenti di origine animale (carne, latte, uova)	209	54	88	23	88	23
– Ridurre il consumo di cibi ultra-processati	258	67	40	10	87	23
– Modificare il proprio modello di consumo alimentare riducendo il consumo di prodotti di origine animale ed aumentando il consumo di proteine di origine vegetale, frutta e verdura	217	56	70	18	98	25

Tabella 3b – Opinioni sul cambiamento climatico, sull’impatto determinato dai sistemi alimentari e sulle strategie di mitigazione (domande C5-C7)

Nota: Concordano = “Totalmente d’accordo” o “Concordo”;

Non concordano = “In disaccordo” o “Totalmente in disaccordo”;

Non sanno / non si esprimono = “Né d’accordo né in disaccordo” o “Non so”

I risultati evidenziano, per tutti e tre gli argomenti, una maggiore concordanza con le opzioni proposte, da parte del genere femminile e degli appartenenti ai *Millennial*, nonché una marcata differenza tra studenti delle aree di studio "Ambientale" e "Scienze della vita e della salute" (concordanza tra il 70 ed il 90%) contro gli iscritti ad altri corsi di studio (concordanza tra il 49 ed il 69%) (tabb. 4a-4c).

	Concordano		Non concordano		Non sanno / non si esprimono	
	n.	%	n.	%	n.	%
Ridurre il consumo di alimenti di origine animale (carne, latte, uova)	209	54	88	23	88	23
di cui:						
– Maschi	82	51	42	26	38	23
– Femmine	124	57	44	20	49	23
di cui:						
– Gen Y	31	61	9	18	11	22
– Gen Z	178	53	79	24	77	23
di cui:						
Scienze sociali e umanistiche	131	49	73	27	64	24
Tecnologico e quantitativa	24	50	11	23	13	27
Ambientale	19	83	1	4	3	13
Scienze della vita e della salute	35	76	3	7	8	17

Tabella 4a – Opinioni sulle strategie di mitigazione tramite riduzione del consumo di alimenti di origine animale

Nota: Concordano = "Totalmente d'accordo" o "Concordo";

Non concordano = "In disaccordo" o "Totalmente in disaccordo";

Non sanno / non si esprimono = "Né d'accordo né in disaccordo" o "Non so"

Per quanto attiene alla disponibilità di orientarsi verso una dieta maggiormente sostenibile (tab. 5), i risultati evidenziano una leggera prevalenza a confermare la propria dieta, con una maggior predisposizione di genere per il cambiamento (54% delle studentesse contro il 46% degli studenti maschi), mentre non vi sono grandi differenze tra gruppi generazionali (49% di disponibilità al cambiamento in entrambi i casi). Meno intellegibile il risultato per area di studio, ove oltre il 62,5% degli studenti dell'area "Tecnologica e quantitativa" si dichiarano disponibili a modificare la propria dieta, contro poco meno del 48% per tutte le altre aree.

	Concordano		Non concordano		Non sanno / non si esprimono	
	n.	%	n.	%	n.	%
Ridurre il consumo di cibi ultra-processati	258	67	40	10	87	23
di cui:						
– Maschi	99	61	18	11	45	28
– Femmine	156	72	21	10	40	18
di cui:						
– Gen Y	38	75	5	10	8	16
– Gen Z	220	66	35	10	79	24
di cui:						
Scienze sociali e umanistiche	172	64	33	12	63	24
Tecnologico e quantitativa	33	69	5	10	10	21
Ambientale	21	91	0	0	2	9
Scienze della vita e della salute	32	70	2	4	12	26

Tabella 4b – Opinioni sulle strategie di mitigazione tramite riduzione del consumo di cibi ultra-processati

Nota: Concordano = “Totalmente d’accordo” o “Concordo”;

Non concordano = “In disaccordo” o “Totalmente in disaccordo”;

Non sanno / non si esprimono = “Né d’accordo né in disaccordo” o “Non so”

	Concordano		Non concordano		Non sanno / non si esprimono	
	n.	%	n.	%	n.	%
Modificare il proprio modello di consumo alimentare riducendo il consumo di prodotti di origine animale e aumentando il consumo di proteine di origine vegetale, frutta e verdura	217	56	70	18	98	25
di cui:						
– Maschi	84	52	33	20	45	28
– Femmine	130	60	36	17	51	24
di cui:						
– Gen Y	34	67	9	18	8	16
– Gen Z	183	55	61	18	90	27
di cui:						
Scienze sociali e umanistiche	136	51	57	21	75	28
Tecnologico e quantitativa	25	52	10	21	13	27
Ambientale	21	91	1	4	1	4
Scienze della vita e della salute	35	76	2	4	9	20

Tabella 4c – Opinioni sulle strategie di mitigazione tramite modifica della dieta

Nota: Concordano = “Totalmente d’accordo” o “Concordo”;

Non concordano = “In disaccordo” o “Totalmente in disaccordo”;

Non sanno / non si esprimono = “Né d’accordo né in disaccordo” o “Non so”

	Si dichiarano disposti a modificare la propria dieta		Confermano la dieta corrente	
	n.	%	n.	%
Totale	191	49,6	194	50,4
di cui:				
– Maschi	74	45,7	88	54,3
– Femmine	117	53,9	100	46,1
di cui:				
– Gen Y	25	49,0	26	60,0
– Gen Z	166	49,7	168	50,3
di cui:				
Scienze sociali e umanistiche	128	47,8	140	52,2
Tecnologico e quantitativa	30	62,5	18	37,55
Ambientale	11	47,8	12	52,2
Scienze della vita e della salute	22	47,8	24	52,2

Tabella 5 – Disponibilità a modificare la propria dieta corrente scegliendo una maggiormente sostenibile

Nota: Gli studenti che non hanno dichiarato il loro genere confermano la dieta corrente

La transizione tra le diverse diete, a cui i rispondenti dichiarano di essere disponibili (191 in totale), evidenzia poi come 47 studenti adotterebbero una dieta flexitariana, 36 'pescetariana', 33 Mediterranea, 32 vegetariana, 26 carnivoro climatica, 17 vegana. Interessante però notare come dei 191 totali, 103 già adottano diete ritenute sostenibili, in particolare 85 di loro dichiarano di seguire già un regime alimentare corrispondente alla dieta Mediterranea (tab. 6).

	D1 – Dieta vegana	D2 – Dieta Vegetariana	D3 – Dieta flexitariana	D4 – Dieta ‘pesceteriana’	D5 – Carnivora climatica	D6- Dieta Mediterranea	Totale	Confermano la dieta corrente	Totale
B1 – Dieta occidentale (<i>Western Diet/Standard American Diet</i>)		1	4	2	3	8	18	6	24
B2 – Dieta ad alto consumo di carne rossa					3	2	5		5
B3 – Dieta a medio consumo di carne rossa		1	3	1	2	4	11	1	12
B4 – Dieta a basso consumo di carne rossa		4	2	1	3	3	13	2	15
B5 – Dieta ad alto consumo di carne bianca		1	1	4	2	4	12	3	15
B6 – Dieta a medio consumo di carne bianca	1	1	4	2	5	7	20	1	21
B7 – Dieta a basso consumo di carne bianca		1	1			2	4	1	5
B8 – Carnivora climatica			1	1		3	5	7	12
B9 – Dieta Mediterranea	6	18	30	23	8		85	136	221
B10 – Dieta flexiteriana	2	5		2			9	19	28
B11 – Dieta ‘pesceteriana’							0	3	3
B12 – Dieta vegeteriana	8		1				9	6	15
B13 – Dieta vegana							0	9	9
<i>Totale</i>	17	32	47	36	26	33	191	194	385

Tabella 6 – Transizione tra diete

Non si rilevano, invece, influenze derivanti dall'informazione fornita in merito alla capacità di mitigazione delle diverse diete⁴, dato che tra i 191 studenti che hanno dichiarato la disponibilità a modificare la propria dieta 98 hanno ricevuto questa informazione contro 93 cui non è stata fornita.

Gli studenti, infine, non hanno riportato problemi specifici per la compilazione, ma solo alcune segnalazioni per approfondire le informazioni rispetto agli impatti al fine di sensibilizzare i rispondenti.

4 Conclusioni

Lo studio esplorativo, fase iniziale di un'indagine tuttora in corso, ha evidenziato, sulla base dei 385 studenti universitari che hanno compilato il questionario alcuni risultati interessanti.

In primo luogo, la significativa attenzione per il problema del riscaldamento climatico, sensibilità peraltro bene nota e data per acquisita da numerosi studi. Ciononostante, si evidenziano carenze informative rispetto ai contributi specifici del settore primario in particolare e del sistema agro-alimentare in generale. Del pari, risulta significativa la differenza di genere nell'adozione di diete maggiormente sostenibili e nella disponibilità dichiarata di modificare la dieta corrente, risultato coerente con le evidenze note in letteratura (Biesbroek et al., 2019; Brunin et al., 2022; Culliford & Bradbury, 2020; Vieux et al., 2020).

Anche la preferenza dei rispondenti per azioni di mitigazione diverse dalla modifica della dieta alimentare risulta coerente con i risultati ottenuti da Slotnick et al. (2022), nonché dagli studi di Culliford & Bradbury (2020).

Di un certo interesse anche l'influenza derivante dal percorso di studio seguito o attuale, per cui gli studenti di area "Ambientale" risulterebbero maggiormente orientati verso diete sostenibili (87% rispetto al 73-76% del resto dei rispondenti), con circa il 30% che seguirebbe una dieta Mediterranea e un 30% una dieta flexitariana; diversamente, tra gli studenti di altre aree di studio emerge una prevalenza della dieta Mediterranea (fino al 52-61%). La limitatezza del numero totale di tali iscritti (23 in totale) non rende però significativo il risultato. Peraltro, anche l'informazione sulla mitigazione determinata dalle diverse diete (fig. 2) fornita, in modo casuale, grosso modo a metà dei rispondenti non sembra determinare un'influenza significativa sui risultati.

⁴ Si fa riferimento alle informazioni di Fig. 2 riportata in precedenza, fornite a un sottogruppo di rispondenti.

Va ricordato però come, mentre oltre il 57% dei rispondenti dichiara di seguire un'alimentazione corrispondente a quella della dieta Mediterranea, i dati statistici ufficiali segnalano come l'alimentazione della popolazione italiana corrisponda solo parzialmente al modello di dieta Mediterranea (Cavaliere et al., 2023). Per cui si può desumere che le dichiarazioni degli studenti in merito al proprio modello alimentare, molto probabilmente, non siano del tutto corrette.

Altre limitazioni dello studio risiedono nella numerosità ancora limitata delle risposte e, soprattutto, nella non rappresentatività del campione, nonché nell'aver escluso aspetti economici quali il reddito personale dei rispondenti o delle loro famiglie e il costo delle diverse diete.

La rilevazione potrebbe aver poi sofferto di una distorsione derivante dagli aspetti salutistici che determinano, più di quelli ambientali, le decisioni di consumo alimentare.

I risultati sono comunque potenzialmente interessanti, nella prospettiva di un prosieguo della ricerca, per il decisore pubblico al fine di comprendere quali siano effettivamente le barriere e i fattori trainanti di una modifica della dieta alimentare. Questi si consolidano in ambito familiare e nelle fasi di passaggio all'età adulta dell'individuo, motivo per il quale la fascia di età dei *Millennial* e, sempre più degli appartenenti alla Generazione Z, risultano di particolare interesse.

La ricerca in futuro potrà svilupparsi tenendo conto di questi elementi, con ampliamento del campione, rendendolo rappresentativo di una popolazione universitaria di riferimento (Università di Trieste o popolazione universitaria italiana), o includendo studenti coinvolti in progetti di scambio e collaborazione internazionale per disporre di un data set maggiormente eterogeneo in termini di caratteristiche socio-culturali dei rispondenti in dipendenza del Paese di origine.

Le future indagini potranno anche prevedere una modifica del questionario attuale per stimare più correttamente la dieta corrente, ad esempio rilevando porzioni mediamente consumate giornalmente o settimanalmente dai rispondenti, anziché far loro dichiarare il modello che ritengono più rappresentativo del loro modello nutrizionale.

Sarà necessario inserire nella ricerca anche variabili economiche, quali reddito e prezzi dei beni, nonché la disponibilità a pagare (ovvero sostenere costi maggiori) per diete maggiormente sostenibili.

Infine, per diffondere le diete sostenibili, sarà necessario valutare il combinato effetto derivante da aspetti di miglioramento dello stato di salute e di mitigazione climatica, nell'ottica di un modello di una dieta salubre e sostenibile.

Bibliografia

- ACCORSI, R., FERRARI, E., MANZINI, R. (2019). Modelling inclusive food supply chains toward sustainable ecosystem planning. in *Sustainable Food Supply Chains. Planning, Design, and Control through Interdisciplinary Methodologies*. (Accorsi, R., & Manzini, R. Eds). Academic Press, 1-21. ISBN 9780128134115. Doi: 10.1016/B978-0-12-813411-5.00001-6.
- AFROUZI, H.N., AHMED, J., MOBIN SIDDIQUE, B., KHAIRUDDIN, N., HASSAN, A. (2023). A comprehensive review on carbon footprint of regular diet and ways to improving lowered emissions, *Results in Engineering*, 18, 101054, Doi: 10.1016/j.rineng.2023.101054.
- AGUIRRE SÁNCHEZ L., ROA-DÍAZ Z.M., GAMBA M., GRISOTTO G., MORENO LONDOÑO A.M., MANTILLA-URIBE B.P., RINCÓN MÉNDEZ A.Y., BALLESTEROS M., KOPP-HEIM D., MINDER B., SUGGS L.S., FRANCO O.H. (2021). What Influences the Sustainable Food Consumption Behaviours of University Students? A Systematic Review. *International Journal of Public Health*. 66, 1604149. Doi: 10.3389/ijph.2021.1604149.
- ASTON, L.M., SMITH, J.N., POWLES, J.W. (2012). Impact of a reduced red and processed meat dietary pattern on disease risks and greenhouse gas emissions in the UK: a modelling study. *BMJ Open* 2(5), e001072. Doi: 10.1136/bmjopen-2012-001072.
- ATTA-DELGADO, M., GONZÁLEZ LOZANO, S., TORRES, A. (2023). A survey on the prevalence of sustainable diets and the eating experience satisfaction, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103305. Doi: 10.1016/j.ifset.2023.103305.
- AUSTGULEN, M., SKULAND, S., SCHJØLL, A., ALFNES, F. (2018). Consumer Readiness to Reduce Meat Consumption for the Purpose of Environmental Sustainability: Insights from Norway. *Sustainability*, 10(9), 3058. Doi: 10.3390/su10093058.
- BAJŽELJ, B., RICHARDS, K., ALLWOOD, J.M., SMITH, P., DENNIS, J.S., CURMI, E., GILLIGAN, C.A. (2014). Importance of food-demand management for climate mitigation. *Nature Climate Change*, 4, 924-929 Doi: 10.1038/nclimate2353.
- BAZOCHE, P., GUINET, N., PORET, S., TEYSSIER, S. (2023). Does the provision of information increase the substitution of animal proteins with plant-based proteins? An experimental investigation into consumer choices, *Food Policy*, 116, 102426, Doi: 10.1016/j.foodpol.2023.102426.

- BENVENUTI, L., DE SANTIS, A., FERRARI, M., MARTONE, D., ROSSI, L. (2022). The carbon footprint of Italian schools meals: An optimal choice of dishes in vegan, vegetarian, and omnivorous menus. *Frontiers in Nutrition*, 9, 854049. Doi: 10.3389/fnut.2022.854049.
- BIESBROEK, S., VERSCHUREN, W.M., BOER, J.M., VAN DER SCHOUW, Y.T., SLUIJS, I., TEMME, E.H. (2019). Are our diets getting healthier and more sustainable? Insights from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition – Netherlands (EPICNL) cohort. *Public Health Nutrition* 22, 2931-2940. Doi: 10.1017/S1368980019001824.
- BONNET, C., BOUAMRA-MECHEMACHE, Z., CORRE, T. (2018). An Environmental Tax Towards More Sustainable Food: Empirical Evidence of the Consumption of Animal Products in France. *Ecological Economics*, 147, 48-61. Doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.12.032.
- BRUNIN, J., ALLÈS, B., PÉNEAU, S., REUZÉ, A., POINTÉREAU, P., TOUVIER, M., HERCBERG, S., LAIRON, D., BAUDRY, J., KESSE-GUYOT, E. (2022). Do individual sustainable food purchase motives translate into an individual shift towards a more sustainable diet? A longitudinal analysis in the NutriNet-Santé cohort. *Cleaner and Responsible Consumption*, 5, 100062, Doi: 10.1016/j.clrc.2022.100062.
- BRYNGELSSON, D., WIRSENIUS, S., HEDENUS, F., SONESSON, U. (2016). How can the EU climate targets be met? A combined analysis of technological and demand-side changes in food and agriculture, *Food Policy*, 59, 152-164. Doi: 10.1016/j.foodpol.2015.12.012.
- CAMPBELL, J., MACDIARMID, J., DOUGLAS, F. (2016). Young people's perception of the environmental impact of food and their willingness to eat less meat for the sake of the environment: A qualitative study. *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(OCE3), E224. Doi: 10.1017/S0029665116002391.
- CASTALDI, S., DEMBSKA, K., ANTONELLI, M., PETERSSON, T., PICCOLO, M.G., VALENTINI, R. (2022). The positive climate impact of the Mediterranean diet and current divergence of Mediterranean countries towards less climate sustainable food consumption patterns. *Scientific Report*, 12, 8847. Doi: 10.1038/s41598-022-12916-9.
- CASTAÑÉ, S., ANTÓN, S. (2017). Assessment of the nutritional quality and environmental impact of two food diets: A Mediterranean and a vegan diet, *Journal of Cleaner Production*, 167, 929-937, Doi: 10.1016/j.jclepro.2017.04.121.
- CASTELLARI, E., MARETTE, S., MORO, D., SCKOKAI, P. (2019). The Impact of Information on Willingness to Pay and Quantity Choices for Meat and Meat Substitute, *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, 17(1), 20170028. Doi: 10.1515/jafio-2017-0028.

- CAVALIERE, A., DE MARCHI, E., FROLA, E.N., BENFENATI, A., ALETTI, G., BACENETTI, J., BANTERLE, A. (2023). Exploring the environmental impact associated with the abandonment of the Mediterranean Diet, and how to reduce it with alternative sustainable diets. *Ecological Economics*, 209, 107818. Doi: 10.1016/j.ecolecon.2023.107818.
- CIHEAM/FAO (2015). *Mediterranean food consumption patterns: diet, environment, society, economy and health. A White Paper Priority 5 of Feeding Knowledge Programme*, Expo Milan 2015. Ciheam, Bari/Fao, Rome. Doi: 10.13140/RG.2.1.3823.2405.
- CREA (2018). *Linee guida per una sana alimentazione*. Revisione 2018. Available online: <https://www.crea.gov.it/web/alimenti-e-nutrizione/-/linee-guida-per-una-sana-alimentazione-2018> (Accessed 29 September 2023).
- CULLIFORD, A., BRADBURY, J. (2020). A cross-sectional survey of the readiness of consumers to adopt an environmentally sustainable diet. *Nutrition Journal*, 19, 138. Doi: 10.1186/s12937-020-00644-7.
- DE BOER, J., DE WITT, A., AIKING, H. (2016). Help the climate, change your diet: A cross-sectional study on how to involve consumers in a transition to a low-carbon society. *Appetite*, 98, 19-27, Doi: 10.1016/j.appet.2015.12.001.
- EDENBRANDT, A.K., LAGERKVIST, C.-J. (2021). Is food labelling effective in reducing climate impact by encouraging the substitution of protein sources? *Food Policy*, 101, 102097, Doi: 10.1016/j.foodpol.2021.102097.
- EDENBRANDT, A.K., LAGERKVIST, C.J., NORDSTRÖM, J. (2021). Interested, indifferent or active information avoiders of carbon labels: Cognitive dissonance and ascription of responsibility as motivating factors. *Food Policy*, 101, 102036. Doi: 10.1016/j.foodpol.2021.102036.
- FAO (2021). *Emissions due to agriculture. Global, regional and country trends 2000-2018*. FAOSTAT Analytical Brief Series No 18. Rome. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cb3808en>.
- FARCHI, S., DE SARIO, M., LAPUCCI, E., DAVOLI, M., MICHELOZZI, P. (2017). Meat consumption reduction in Italian regions: Health co-benefits and decreases in GHG emissions. *PLoS ONE* 12(8): e0182960. Doi: 10.1371/journal.pone.0182960.
- FRESÁN, U., MARTÍNEZ-GONZALEZ, M.A., SABATÉ, J., BES-RASTROLLO, M. (2018). The Mediterranean diet, an environmentally friendly option: evidence from the Seguimiento Universidad de Navarra (SUN) cohort. *Public Health Nutrition*, 21 (8), 1573-1582. Doi: 10.1017/S1368980017003986.

- GARNETT, T. (2011). Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? *Food Policy*, 36 (Supp.1), S23-S32. Doi: 10.1016/j.foodpol.2010.10.010.
- GOVINDAN, K. (2018). Sustainable consumption and production in the food supply chain: A conceptual framework. *International Journal of Production Economics*, 195, 419-431. Doi: 10.1016/j.ijpe.2017.03.003.
- HARGUESS, J.M., CRESPO, N.C., HONG, M.Y. (2020). Strategies to reduce meat consumption: A systematic literature review of experimental studies. *Appetite*, 144, 104478. Doi: 10.1016/j.appet.2019.104478.
- HARTMANN, C., SIEGRIST, M. (2017). Consumer perception and behaviour regarding sustainable protein consumption: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 11-25. Doi: 10.1016/j.tifs.2016.12.006.
- HORRIGAN L., LAWRENCE R.S., WALKER P. (2002). How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental Health Perspectives*, 110(5), 445-456. Doi: 10.1289/ehp.02110445.
- HYLAND, J.J., HENCHION, M., MCCARTHY, M., MCCARTHY, S.N. (2017). The role of meat in strategies to achieve a sustainable diet lower in greenhouse gas emissions: a review. *Meat Science*, 132, 189-195. Doi: 10.1016/j.meatsci.2017.04.014.
- IPCC (2023). *AR6 Synthesis Report Climate Change 2023*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf.
- KAUSE, A., DE BRUIN, W.B., MILLWARD-HOPKINS, J., OLSSON, H. (2019). Public perceptions of how to reduce carbon footprints of consumer food choices. *Environmental Research Letters*, 14, 114005. Doi: 10.1088/1748-9326/ab465d.
- KENNY, T.A., WOODSIDE, J.V., PERRY, I.J., HARRINGTON, J.M. (2023). Consumer attitudes and behaviors toward more sustainable diets: a scoping review. *Nutrition Reviews*, nuad033, Doi: 10.1093/nutrit/nuad033.
- LEHIKONEN, E., SALONEN, A.O. (2019). Food Preferences in Finland: Sustainable Diets and their Differences between Groups. *Sustainability*, 11(5), 1259. Doi: 10.3390/su11051259.
- MACLEOD, M., LEINONEN, I., WALL, E., HOUDIJK, J., EORY, V., BURNS, J., VOSOUGH AHMADI, B., GOMEZ BARBERO, M. (2019). *Impact of animal breeding on GHG emissions and farm economics*, EUR 29844 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, JRC117897. ISBN 978-92-76-10943-3 (online), Doi:10.2760/731326.

- PAIS, D.F., MARQUES, A.C., FUINHAS, J.A. (2022). The cost of healthier and more sustainable food choices: Do plant-based consumers spend more on food? *Agricultural and Food Economics*, 10, 18. Doi: 10.1186/s40100-022-00224-9.
- PERIGNON, M., VIEUX, F., SOLER, L-G., MASSET, G., DARMON, N. (2017). Improving diet sustainability through evolution of food choices: review of epidemiological studies on the environmental impact of diets. *Nutrition Reviews*, 75 (1): 2-17. Doi: 10.1093/nutrit/nuw043.
- PUCCI, T., CASPRINI, E., SOGARI, G., ZANNI, L. (2022). Exploring the attitude towards the adoption of a sustainable diet: a cross-country comparison, *British Food Journal*, 124 (13), 290-304. Doi: 10.1108/BFJ-04-2021-0426.
- ROSI, A., BIASINI, B., DONATI, M., RICCI, C., SCAZZINA, F. (2020). Adherence to the Mediterranean Diet and Environmental Impact of the Diet on Primary School Children Living in Parma (Italy). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (17), 6105. Doi: 10.3390/ijerph17176105.
- SANCHEZ-SABATE, R., SABATÉ, J. (2019). Consumer Attitudes Towards Environmental Concerns of Meat Consumption: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(7), 1220. Doi: 10.3390/ijerph16071220.
- SCARBOROUGH, P., APPLEBY, P.N., MIZDRAK, A., BRIGGS, A.D., TRAVIS, R.C., BRADBURY, K.E., KEY, T.J. (2014). Dietary greenhouse gas emissions of meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans in the UK. *Climate Change*, 125(2), 179-192. Doi: 10.1007/s10584-014-1169-1.
- SCHERER, L., VERBURG, P.H. (2017). Mapping and linking supply- and demand-side measures in climate-smart agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(66). Doi: 10.1007/s13593-017-0475-1.
- SECONDA, L., BAUDRY, J., ALLÈS, B., BOIZOT-SZANTAI, C., SOLER, L-G., GALAN, P., HERCBERG, S., LANGEVIN, B., LAIRON, D., POINTEREAU, P., KESSE-GUYOT, E. (2018). Comparing nutritional, economic, and environmental performances of diets according to their levels of greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 148, 155-172. Doi: 10.1007/s10584-018-2195-1.
- ŠEDOVIÁ, I., SLOVÁK, L., JEŽKOVÁ, I. (2016). Coping with unpleasant knowledge: Meat eating among *students* of environmental studies, *Appetite*, 107, 415-424, Doi: 10.1016/j.appet.2016.08.102.

- SERRA-MAJEM, L., TOMAINO, L., DERNINI, S., BERRY, E.M., LAIRON, D., NGO DE LA CRUZ, J., BACH-FAIG, A., DONINI, L.M., MEDINA, F.X., BELAHSEN, R., PISCOPO, S., CAPONE, R., ARANCETA-BARTRINA, J., LA VECCHIA, C., TRICHOPOULOU A. (2020). Updating the Mediterranean Diet Pyramid towards Sustainability: Focus on Environmental Concerns. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (23), 8758. Doi: 10.3390/ijerph17238758.
- SLOTNICK, M.J., FALBE, J., COHEN, J.F.W., GEARHARDT, A.N., WOLFSON, J.A., LEUNG, C.W. (2023) Environmental and Climate Impact Perceptions in University Students: Sustainability Motivations and Perceptions Correspond with Lower Red Meat Intake. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 123(5), 740-750. Doi: 10.1016/j.jand.2022.09.015.
- SORET, S., MEJIA, A., BATECH, M., JACELDO-SIEGL, K., HARWATT, H., SABATÉ, J. (2014). Climate change mitigation and health effects of varied dietary patterns in real-life settings throughout North America. *American Journal of Clinical Nutrition*, 100 Suppl 1, 490S-5S. Doi: 10.3945/ajcn.113.071589.
- SPRINGMANN, M. (2020). *Valuation of the health and climate-change benefits of healthy diets*. Background paper for The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. FAO Agricultural Development Economics Working Paper 20-03. Rome, FAO. Doi: 10.4060/cb1699en.
- TAVOULARIS G., SAUVAGE E. (2018). Les nouvelles générations transforment la consommation de viande. Credoc. *Consommation et Mode de Vie*, n° 300. Paris, France.
- TEPPER, S., KISSINGER, M., AVITAL, K., SHAHAR, D.R. (2022). The Environmental Footprint Associated with the Mediterranean Diet, EAT-Lancet Diet, and the Sustainable Healthy Diet Index: A Population-Based Study. *Frontiers in Nutrition*, 9, 870883. Doi: 10.3389/fnut.2022.870883.
- TUCCI, M., MARTINI, D., MARINO, M., DEL BO', C., VINELLI, V., BISCOTTI, P., PARISI, C., DE AMICIS, R., BATTEZZATI, A., BERTOLI, S., PORRINI, M., RISO P. (2022). The Environmental Impact of an Italian-Mediterranean Dietary Pattern Based on the EAT-Lancet Reference Diet (EAT-IT). *Foods*, 11 (21), 3352. Doi: 10.3390/foods11213352.
- ULASZEWSKA, M.M., LUZZANI, G., PIGNATELLI, S., CAPRI, E. (2017). Assessment of diet-related GHG emissions using the environmental hourglass approach for the Mediterranean and new Nordic diets, *Science of The Total Environment*, 574, 829-836, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.039.

- VAN DOOREN, C., MARINUSSEN, M., BLONK, H., AIKING, H., VELLINGA, P. (2014). Exploring dietary guidelines based on ecological and nutritional values: a comparison of six dietary patterns. *Food Policy*, 44:36-46. Doi.: 10.1016/j.foodpol.2013.11.002.
- VAN DOOREN, C., TYSZLER, M., KRAMER, G., AIKING, H. (2015). Combining Low Price, Low Climate Impact and High Nutritional Value in One Shopping Basket through Diet Optimization by Linear Programming. *Sustainability*, 7(9), 12837-12855. Doi: 10.3390/su70912837.
- VIEUX, F., PERIGNON, M., GAZAN, R., DARMON, N. (2018). Dietary changes needed to improve diet sustainability: are they similar across Europe? *European Journal of Clinical Nutrition*, 72 (7), 951-960. Doi: 10.1038/s41430-017-0080-z.
- VIEUX, F., PRIVET, L., SOLER, L.G., IRZ, X., FERRARI, M., SETTE, S., RAULIO, S., TAPANAINEN, H., HOFFMANN, R., SURRY, Y., PULKKINEN, H., DARMON, N. (2020). More sustainable European diets based on self-selection do not require exclusion of entire categories of food. *Journal of Cleaner Production*. 248, 119298. Doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119298.
- VINCI, G., MADDALONI, L., PRENCIPE, S.A., RUGGERI, M., DI LORETO, M.V. (2022). A Comparison of the Mediterranean Diet and Current Food Patterns in Italy: A Life Cycle Thinking Approach for a Sustainable Consumption. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 12274. Doi: 10.3390/ijerph19191227.
- VINEIS, P., ALFANO, R., ANCONA, C., CARRA, L., DE' DONATO, F., IAVARONE, I., MANGONE, L., MARTUZZI, M., MICHELOZZI, P., PETITI, L., RANZI, A., ROMANELLO, M., SILENZI, A., STAFOGGIA, M. (Ed.). (2021). *Mitigation of climate change and health prevention in Italy: the co-benefits policy*. Roma: Istituto Superiore di Sanità (Rapporti ISTISAN 21/20). <https://www.iss.it/documents/5430402/0/21-20+web.pdf/d7aef103-86a6-12ba-39c3-35a6cca7a6a9?t=1635944860042>.
- WILLETT, W., ROCKSTRÖM, J., LOKEN, B., SPRINGMANN, M., LANG, T., VERMEULEN, S., GARNETT, T., TILMAN, D., DECLERCK, F., WOOD, A., JONELL, M., CLARK, M., GORDON, L.J., FANZO, J., HAWKES, C., ZURAYK, R., RIVERA, J.A., DE VRIES, W., MAJELE SIBANDA, L., AFSHIN, A., CHAUDHARY, A., HERRERO, M., AGUSTINA, R., BRANCA, F., LARTEY, A., FAN, S., CRONA, B., FOX, E., BIGNET, V., TROELL, M., LINDAHL, T., SINGH, S., CORNELL, S.E., SRINATH REDDY, K., NARAIN, S., NISHTAR, S. & MURRAY, C.J.L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*, 393(10170):447-492. Doi: 10.1016/S0140-6736(18)31788-4.

La sostenibilità nel settore agroalimentare: una sintesi bibliometrica della letteratura

Veronica Ungaro
Università degli Studi Roma Tre
Atifa Amin
Università degli Studi Roma Tre
Federica Bisceglia
Università degli Studi Roma Tre
Roberta Guglielmetti Mugion
Università degli Studi Roma Tre

ABSTRACT

Obiettivo: lo scopo del presente articolo è indagare lo stato di avanzamento della ricerca in merito allo studio della sostenibilità della filiera nel settore agroalimentare, al fine di definire lo stato dell'arte e le tendenze attuali per identificare le principali aree di questo filone.

Metodologia: È stata eseguita un'analisi bibliometrica della letteratura utilizzando un campione di 1067 documenti estratti attraverso la piattaforma Scopus. I dati raccolti sono stati osservati mediante analisi descrittive delle performance e un'analisi delle co-occorrenze e i risultati ottenuti sono stati poi illustrati graficamente mediante l'utilizzo dei software VOSviewer e Biblioshiny.

Risultati: sono stati identificati i Paesi, le istituzioni e le riviste che hanno pubblicato più frequentemente studi relativi alla sostenibilità della supply chain nel settore agroalimentare. In particolare, sono stati rilevati il numero totale di pubblicazioni per anno e rivista, il numero di pubblicazioni per autore, istituzione e Paese e gli articoli con il maggior numero di citazioni. Infine, l'analisi delle co-occorrenze condotta sulle parole chiave indicate dagli autori ha consentito di osservare le caratteristiche dei 4 cluster individuati e di evidenziare le aree tematiche che risultano essere maggiormente approfondite in letteratura.

Limiti: sarebbe opportuno svolgere le ricerche future con l'ausilio di altri database per ampliare la visione del fenomeno e utilizzare ulteriori parole chiave nella stringa di ricerca.

Originalità: il presente articolo contribuisce ad ampliare le ricerche esistenti indagando lo stato dell'arte della letteratura relativa ai temi della supply chain sostenibile nella filiera agroalimentare cercando di delineare gli aspetti considerati più importanti e offrendo spunti per ulteriori indagini in relazione a nuove aree tematiche da sviluppare.

PAROLE CHIAVE: sostenibilità, settore agroalimentare, filiera agroalimentare, supply chain sostenibile, analisi bibliometrica

1 Introduzione

In un'economia sempre più globalizzata, la gestione della supply chain è diventata estremamente complessa, dovendo gestire flussi frammentati di informazioni, materiali e capitali in tutto il mondo. Inoltre, i prodotti e servizi che le aziende offrono sul mercato portano con sé un carico ambientale e sociale derivante dalle fasi di produzione e distribuzione (Seuring e Muller, 2008).

L'interesse del mondo accademico e aziendale per la gestione sostenibile della supply chain è aumentato notevolmente negli anni (Ansari e Kant, 2017). Considerando il fatto che la catena di fornitura riguarda il prodotto dalla lavorazione iniziale delle materie prime alla consegna all'utilizzatore finale, l'attenzione dedicata alla loro gestione rappresenta un importante passo avanti verso una più ampia adozione e sviluppo della sostenibilità all'interno delle aziende (Ashby et al., 2012).

La sicurezza alimentare rappresenta una delle principali responsabilità che la filiera agroalimentare si trova a dover sostenere. Tuttavia, aspetti come il cambiamento climatico, il deterioramento ambientale e la perdita di biodiversità costituiscono ulteriori priorità che il settore è tenuto a considerare nella definizione dei migliori sistemi e approcci di gestione della produzione alimentare e dell'utilizzo del suolo (Lanz et al., 2018). Recenti studi hanno evidenziato che entro il 2050 la produzione alimentare dovrà raddoppiare per soddisfare la domanda della popolazione mondiale e che quest'ultima ammonterà a circa 9,8 miliardi entro il 2050 e a 11,2 miliardi entro il 2100 (Ojo et al., 2018). Secondo dati pubblicati dalla FAO, circa il 33% di tutti gli alimenti prodotti a livello globale, pari a 930 milioni di tonnellate, viene perso o sprecato lungo la filiera agroalimentare, lasciando 800 milioni di persone vittime della fame (Dora et al., 2021). Inoltre, nel 2011 l'Agenzia europea per l'ambiente ha dichiarato che il settore alimentare e delle bevande contribuisce a circa il 23% dell'uso globale delle risorse, al 18% delle emissioni di gas serra e al 31% delle emissioni acidificanti (EEA, 2010). Le aziende agroalimentari stanno subendo una crescente pressione in merito alle questioni sociali e ambientali legate alle sostenibilità delle loro catene di fornitura (Aidonis et al., 2015).

In linea con la discussione precedente, l'obiettivo del presente lavoro è condurre un'analisi bibliometrica della letteratura che esamina gli aspetti della supply chain sostenibile nel settore agroalimentare. Lo scopo è quello di indagare lo stato dell'arte della letteratura relativa ai temi sopra indicati cercando di delinearne gli aspetti considerati più importanti e di offrire spunti per ulteriori indagini in relazione a nuove aree tematiche da sviluppare.

Le sezioni successive dell'articolo sono organizzate come segue: in

primo luogo, viene fornita una rassegna della letteratura relativa all'obiettivo della ricerca, seguita da una descrizione della metodologia utilizzata e dalla presentazione dei principali risultati della ricerca. Infine, l'ultima sezione discute le conclusioni, i limiti e le possibilità di ricerca futura.

2 Background

Le aziende sono fortemente esposte ai rischi connessi alla sostenibilità delle loro catene di fornitura a causa della globalizzazione, delle continue sfide del mercato, dell'incertezza della domanda e della crescente competitività economica (Agnusdei e Coluccia, 2022).

Tali problematiche hanno spinto professionisti e studiosi a riflettere su come la gestione della catena di fornitura (SCM) possa contribuire alla riduzione degli sprechi, a un uso più efficiente delle risorse, alla conservazione dell'energia e alla riduzione degli effetti ambientali nocivi nonché alla limitazione degli impatti di prodotti e servizi sulle persone, promuovendo il benessere delle persone, la dignità umana e il soddisfacimento dei bisogni fondamentali (Hutchins e Sutherland, 2008). Sebbene le prime iniziative di sostenibilità nella gestione della catena di fornitura tendessero a concentrarsi principalmente sulle questioni ambientali, con il passare del tempo è stato sempre più adottato un approccio basato sulla Triple Bottom Line, ovvero sull'integrazione di questioni ambientali, sociali ed economiche (Ahi e Searcy, 2013). Uno sviluppo chiave nell'evoluzione del SCM è stato l'emergere di un sottocampo noto come gestione sostenibile della catena di fornitura (SSCM). Una catena di fornitura è un processo dinamico che comprende il flusso continuo di materiali, fondi e informazioni attraverso molteplici aree funzionali all'interno e tra i membri della catena (Jain et al., 2009). Il tema della sostenibilità nella SCM è stato discusso in letteratura con diversi approcci. La Green Supply Chain management e la Sustainable Supply Management sono i due approcci chiave che prendono in considerazione gli impatti economici, sociali ed ambientali associati al SCM (Ashby et al., 2012). La catena di fornitura verde può essere definita come un approccio strategico volto a estendere le misure ambientali all'intera catena di fornitura (Albino et al. 2009), un approccio che considera la dimensione ambientale della sostenibilità all'interno della catena di fornitura (Wu e Pagell, 2011). Ahi e Searcy (2013) affermano che il SSCM è essenzialmente un'estensione del GSCM alle questioni etiche e sociali. Sono presenti molteplici definizioni di Supply chain sostenibile in letteratura. Secondo Carter e Rogers (2008) la SSCM fa riferimento all'integrazione strategica e trasparente e il raggiungimento degli obiettivi sociali, ambientali ed economici di un'organizzazione attraverso il coordinamento sistemico

dei principali processi aziendali inter-organizzativi al fine di migliorare le prestazioni economiche a lungo termine della singola azienda e delle sue catene di fornitura. Wittstruck and Teuteberg (2011) la definiscono come un'estensione del concetto tradizionale di Supply chain Management con l'aggiunta di aspetti ambientali e sociali/etici e Font et al. (2008) come un approccio volto ad ampliare la sostenibilità dei processi di gestione della catena di fornitura esistenti, tenendo conto degli impatti ambientali, sociali ed economici delle attività aziendali.

Nonostante gli sforzi per garantire una produzione e una distribuzione alimentare più efficiente a livello globale, il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità della filiera alimentare rimane una sfida critica a livello mondiale (Yamoah & Yawson, 2023).

L'industria alimentare lotta costantemente contro la sicurezza alimentare, gli sprechi e la salute pubblica e nuove sfide continuando ad incidere sulla sua resilienza e sostenibilità come il cambiamento climatico e la dipendenza dal petrolio. C'è una crescente preoccupazione per la sostenibilità sociale e ambientale dell'industria alimentare e si prevede che la progettazione e la gestione delle filiere saranno soggette a regolamentazioni sempre più severe e a un monitoraggio più attento di tutte le attività (Bigliardi e Bottani, 2010). Ciò è dovuto anche alle specificità che caratterizzano le filiere agroalimentari e che le differenziano da altri tipi di filiere, come ad esempio i vincoli di conservabilità e deperibilità dei prodotti, i lunghi tempi di lavorazione e la stagionalità della produzione (Aramyan, 2007). Il miglioramento della sostenibilità dei processi e dei prodotti aiuterà l'industria alimentare a mitigare i rischi e a rispondere alle mutevoli richieste dei consumatori. Smith, (2008) ha esaminato le opportunità disponibili per le aziende alimentari per incoraggiarle a investire in sistemi di produzione e distribuzione più sostenibili e a collegare pratiche commerciali più sostenibili agli acquisti dei consumatori e ai valori della società. Occorre stabilire se il cibo possa essere fornito, distribuito e consumato in modo più sostenibile senza compromettere i costi (Li et al., 2014).

Maloni & Brown (2006) hanno delineato diverse dimensioni della responsabilità sociale d'impresa nelle filiere alimentari. Una di queste è l'approvvigionamento delle materie prime, questione fortemente connessa alle relazioni con i fornitori. Simpson & Power (2005) hanno affermato che le relazioni con i fornitori possono rappresentare una chiave di lettura per le imprese per intervenire sulla sostenibilità dei loro prodotti e servizi. Inoltre, il miglioramento della sostenibilità alimentare può creare benefici oltre che per le aziende del settore anche per le altre parti coinvolte all'interno della filiera alimentare. Facendo riferimento alla ricerca di Preuss (2009) sull'approvvigionamento etico e allo studio di Jansa et al. (2010) sulla sostenibilità a lungo termine della produzione alimentare globale, si evidenzia come la

dimensione della sostenibilità dipenda dalle condizioni di vita locali, dai diritti dei lavoratori, dai diritti del suolo, dalla sicurezza alimentare, dalla valorizzazione dei prodotti a fine vita e dalle questioni ambientali.

Sulla base di questa rassegna della letteratura, considerando la necessità di sviluppare filiere agroalimentari più sicure e rispettose dei valori sociali e ambientali, occorre condurre una ricerca più strutturata sulle connessioni esistenti ed emergenti tra il settore agroalimentare e la sostenibilità della supply chain. Questo studio esplora le principali aree in cui questi due concetti si integrano, contribuendo ad analizzare la letteratura esistente e a promuovere l'adozione di pratiche innovative.

L'insicurezza alimentare è una sfida importante; è chiaro che la produzione di cibo sta aumentando, ma la domanda cresce più rapidamente. Anche la produzione e lo spreco di cibo stanno crescendo rapidamente con l'aumento della domanda complessiva, l'incremento del reddito e dello stile di vita. Il settore agroalimentare incide su molteplici aspetti fondamentali per il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) delle Nazioni Unite (SDGs 2, 6, 7, 8, 12, 13, 15), e lo sviluppo di catene di fornitura più sostenibili, affidabili ed efficienti rappresenta una priorità da raggiungere (Briamonte et al., 2021). Questa sezione presenta una sintesi delle conoscenze storiche, del quadro concettuale e dell'importanza dell'agroalimentare e della sostenibilità. Entrambe le tematiche hanno carattere globale e attingono all'agenda dello sviluppo sostenibile. Entrambe le idee riguardano la produzione e il consumo di prodotti agricoli e alimentari sostenibili, mettono in primo piano i miglioramenti a livello di sistema e la necessità di integrare gli aspetti ambientali, sociali ed economici.

3 Metodologia

Per raggiungere l'obiettivo dello studio e identificare lo stato dell'arte rispetto alla sostenibilità della supply chain agroalimentare, il presente articolo applica la metodologia dell'analisi bibliometrica.

Tale approccio consente di sintetizzare un gran numero di dati e di mappare la conoscenza scientifica in un determinato campo, identificando la struttura intellettuale e le tendenze della ricerca. Inoltre, questo approccio si applica quando l'ambito della ricerca è molto ampio e il set di dati è troppo grande per essere analizzato manualmente (Donthu et al., 2021). Per condurre l'analisi, gli autori hanno seguito le 4 fasi proposte da Donthu et al. (2021): i) definire gli obiettivi della ricerca e lo scopo dell'analisi bibliometrica; ii) individuare la tecnica da applicare per l'analisi bibliometrica, in particolare si può procedere utilizzando un'analisi di performance e tecniche di science mapping; iii) raccogliere i dati, stabilendo le parole chiave

che si intende utilizzare, selezionando il database e realizzando il dataset finale; iv) eseguire l'analisi bibliometrica e riportare i risultati.

Definito l'obiettivo della ricerca, sono state quindi individuate le tecniche da applicare e in particolare, nella presente ricerca, sono state effettuate *i*) un'analisi descrittiva delle performance, utile per definire i contributi di ricerca di un campo specifico (Cobo et al., 2011; Ramos-Rodrigue e Ruiz-Navarro, 2004; Donthu et al., 2021) – nell'articolo si è analizzato in particolare il numero totale di pubblicazioni per anno, il numero di pubblicazioni per rivista, il numero medio di pubblicazioni per rivista, gli articoli con il numero più elevato di citazioni, il numero di pubblicazioni per organizzazione, le pubblicazioni per nazione e l'andamento della produzione per ciascun paese nel tempo – *ii*) una co-occurrence analysis condotta sulle parole chiave fornite dagli autori negli articoli, approccio che si basa sull'idea che le parole che compaiono più frequentemente insieme hanno una relazione tematica tra loro (Donthu et al., 2021; Cavalcante et al., 2021; Emich et al., 2020). Inoltre, come sottolineato da Zou et al., 2018, in una pubblicazione, le parole chiave esprimono i concetti tematici dell'articolo in quanto vengono scelte per rappresentare i temi più importanti e sono quindi rappresentative dello scopo dell'autore (Emich et al., 2020). L'analisi delle co-occurrence è stata poi utile per l'analisi dei cluster tematici.

Gli autori hanno raccolto i dati utilizzando Scopus, database importante per la ricerca multidisciplinare e largamente utilizzato nella ricerca accademica (Donthu et al., 2020; Bartol et al., 2014; Norris e Oppenheim, 2007; Macke e Genari, 2019). Per svolgere l'analisi sono state utilizzate le seguenti parole chiave “sustainability”; “sustainable supply chain”; “agri-food”; “agri-food”; “agricultural-food”.

Gli autori hanno definito poi ulteriori criteri di analisi stabilendo *i*) l'inclusione di soli articoli scientifici e *ii*) articoli scientifici scritti solo in lingua inglese. Alla fine del processo sono stati identificati 1067 documenti. Le analisi descrittive delle performance sono state effettuate attraverso il software “Biblioshiny”- alimentato da “bibliometrix”. Biblioshiny è una piattaforma online che consente agli utenti di eseguire analisi bibliometriche e visive su interfaccia web interattiva (Aria e Cuccurullo, 2017; Xie et al., 2020).

Per la rappresentazione della co-occurrence analysis è stato utilizzato software “VOSviewer”, un'applicazione per la visualizzazione e la costruzione di reti bibliometriche; è specializzato nella rappresentazione grafica della mappa bibliometrica, consentendo ai lettori di valutare e analizzare rapidamente le connessioni (Hockerts et al., 2018).

Attraverso la ricerca bibliometrica, questo studio intende stabilire lo stato della disciplina e individuare l'affiliazione tra Agroalimentare e filiera sostenibile. Lo studio intende quindi rispondere alle seguenti domande di ricerca:

RQ1: Determinare le principali fonti, paesi, autori, documenti e istituti (affiliazioni) che hanno apportato contributi significativi a entrambe le aree, agroalimentare e filiera sostenibile.

RQ2: Identificare i temi principali affrontati nell'area e analizzare i contenuti dei cluster per parole chiave.

4 Discussione dei risultati

Nella presente sezione vengono presentati i risultati dell'analisi bibliometrica. Nella prima parte vengono fornite un'analisi descrittiva delle performance dei documenti inclusi nello studio mentre nella seconda parte vengono discussi gli outcome dell'analisi svolta sulle parole chiave degli autori (co-occurrence analysis) e vengono descritti i cluster identificati.

4.1. Analisi descrittiva delle performance

L'analisi delle performance si basa su indicatori relativi all'attività di ricerca sul tema oggetto dello studio, in grado di analizzare i dati bibliografici per fornire informazioni sul volume (ad esempio, produzione e frequenza), sulla distribuzione (ad esempio, paese, affiliazione, autori) e sull'impatto (ad esempio, citazioni) delle ricerche pubblicate (Bartolacci et al., 2020).

4.1.1. Distribuzione temporale

Il numero di pubblicazioni negli anni risulta essere l'indicatore più utilizzato per analizzare la produttività scientifica di una particolare disciplina. La figura 1 mostra la distribuzione temporale delle pubblicazioni nel periodo di studio considerato, per un totale di 1067 pubblicazioni. Il primo articolo pubblicato che tratta il tema della supply chain sostenibile nel settore agroalimentare, all'interno di Scopus, risale al 1982: "*Sustainability in the Canadian agri-food system*" di Dyer J.A. nella rivista *Canadian Farm Economics* (Dyer, 1982). Complessivamente dal 1982 fino al 2004 sono stati pubblicati solo 14 articoli sull'argomento. Nello specifico negli anni 1982, 1989, 1993, 2000, 2001, 2003 e 2008 è stato pubblicato solamente un articolo sulla tematica, nell'anno 1999 tre articoli, nel 2004 solamente cinque pubblicazioni.

L'andamento cumulativo delle pubblicazioni nel tempo può essere utilizzato come indicatore dell'importanza della supply chain sostenibile nell'agroalimentare. L'interesse della comunità scientifica sul tema sembra diventare più consistente a partire dal 2015. Si assiste infatti ad una crescita esponenziale delle pubblicazioni nel campo di ricerca

Sebbene emergano alcune pubblicazioni importanti precedenti al 2015, come indicato sopra, l'anno 2015 sembra rappresentare il momento in cui è nata l'esigenza di studiare il fenomeno.

In base a quanto identificato il picco di pubblicazioni si è registrato nel 2022 con 210 pubblicazioni, seguito da 207 nel 2023.

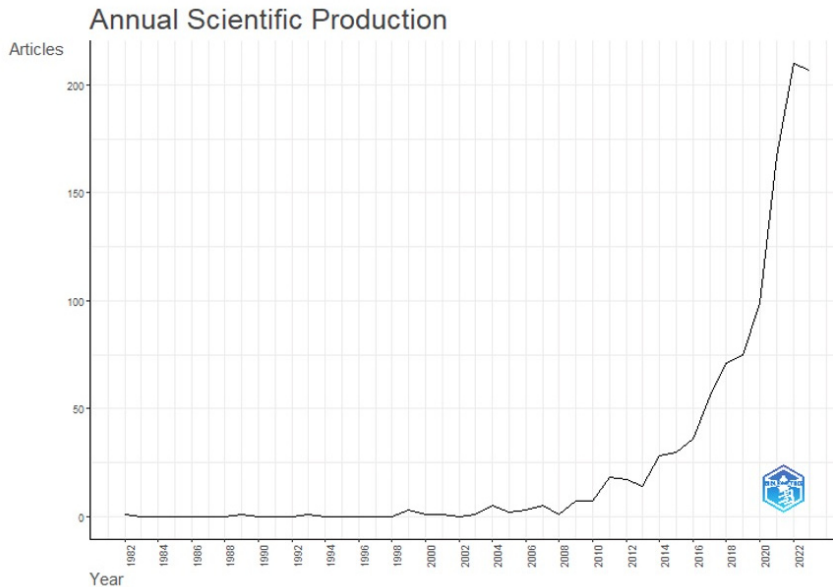


Figura 1 – Pubblicazione per anno (Biblioshiny)

4.1.2. Analisi dei giornali

L'analisi dei documenti tramite il giornale ci permette di definire la distribuzione dei principali giornali in cui viene affrontato il fenomeno indagato. Nonostante la ricerca sul tema abbia riscontrato una produzione scientifica su libri, conference book ecc, l'analisi presentata in questa sezione si concentra esclusivamente sulle pubblicazioni su riviste accademiche.

Le riviste accademiche svolgono un ruolo importante per la diffusione, la comunicazione e l'eredità del patrimonio scientifico esistente (Van Nunen et al., 2018; Zou et al., 2018).

I risultati mostrano che 1067 articoli sono stati pubblicati in 381 giornali differenti. Tra questi, 266, e quindi circa il 70%, ha pubblicato un solo articolo relativo al fenomeno analizzato, 46 giornali hanno pubblicato solamente due ricerche (12%), 20 giornali ne hanno pubblicati tre (5%), 8 giornali ne hanno pubblicati quattro (2%), la restante parte (41 giornali, 11% circa) ne ha pubblicati più di 5. Le riviste con la più alta produzione scientifica sull'argomento sono rappresentate nella figura 2 considerando gli articoli con almeno 10 pubblicazioni in Scopus nel periodo in esame.

“*Sustainability (Switzerland)*” risulta essere la rivista più prolifica con 160 articoli pubblicati (il 15 % del totale di articoli raccolti su Scopus).

Segue “*Journal of Cleaner Production*” con 56 articoli (5,24 %) e “*Agriculture and human values*” con 29 articoli (2,71). Mentre in “*British food journal*” e “*Journal of rural studies*” ne sono stati pubblicati rispettivamente 28 e 27.



Figura 2 – Pubblicazione per giornale (Biblioshiny)

Se guardiamo l’andamento nel tempo dei cinque giornali con la maggiore produzione scientifica sull’argomento vediamo che “*Agriculture and human value*” è il primo ed unico a trattare l’argomento in esame nel periodo dal 1989 al 2002, seguito poi dal “*British food journal*” e “*Agriculture and human value*” che hanno iniziato ad occuparsi dell’argomento rispettivamente nel 2003 e nel 2005. *Sustainability* inizia ad occuparsi dell’argomento solo a partire dal 2013, mentre *Journal of Cleaner production* dal 2012 (Fig. 3).

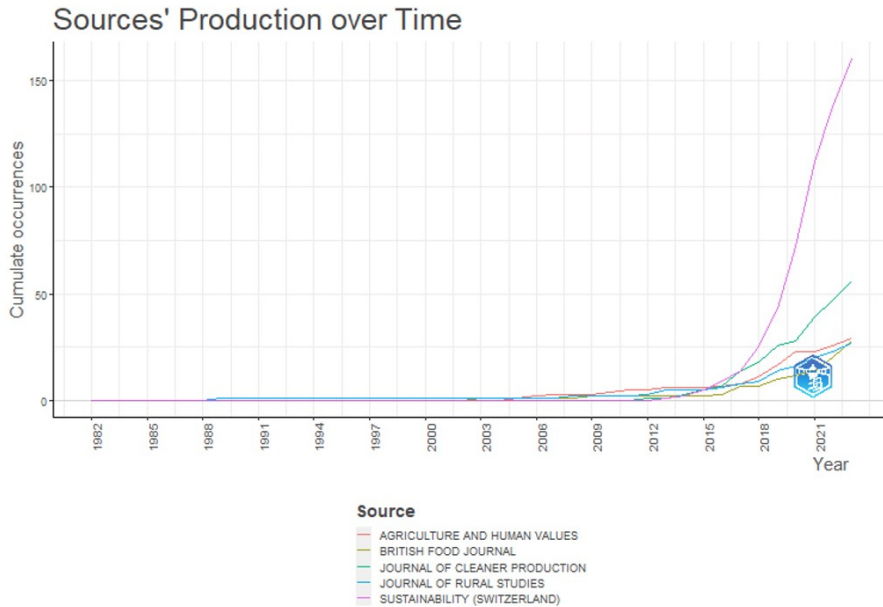


Figura 3 – Pubblicazione per giornale nel tempo (Biblioshiny)

4.1.3. *Analisi degli autori e degli articoli più citati*

Il fenomeno della supply chain sostenibile nell'agrifood è un'area di ricerca in crescita (vedi Fig 1) che sta attirando l'attenzione dei ricercatori. Il totale di 1067 articoli raccolti in Scopus coinvolge 3508 autori diversi. La maggior parte degli autori (516; 74,67%) registra una sola pubblicazione, il 16,41% (97 autori) almeno 3 pubblicazioni e solo 11 autori (1,59%) hanno pubblicato nove o più articoli. Questo risultato è coerente con quello di altri studi bibliometrici in cui solo un piccolo gruppo di autori concentra una quota significativa di pubblicazioni su un argomento specifico (Liu et al., 2012; Van Nunen et al., 2018; Sharifi et al., 2021; Luo et al., 2022).

La figura 4 mostra i 10 autori più produttivi che hanno pubblicato sul fenomeno un minimo di 6 articoli. La classifica si basa sul numero totale di pubblicazioni dell'autore e non sull'ordine di paternità (Van Nunen et al., 2018).

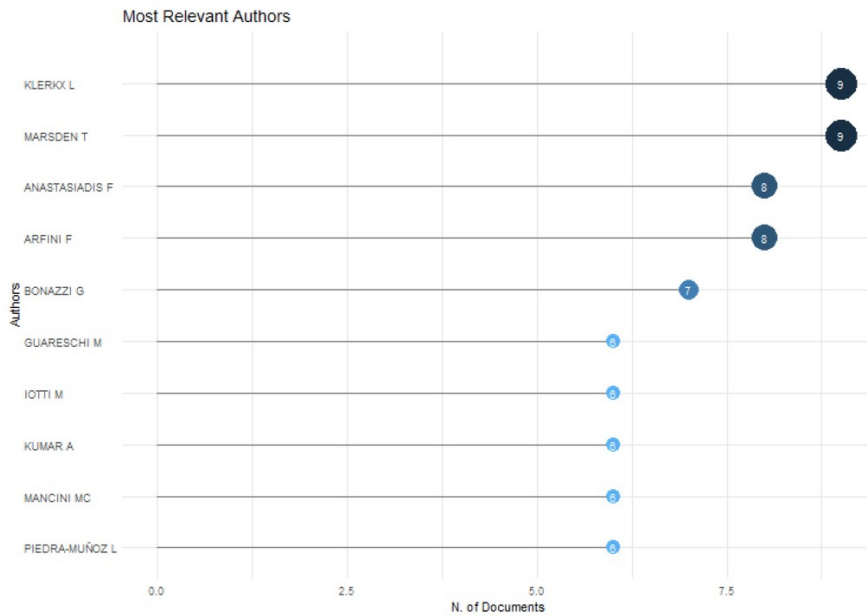


Figura 4 – Autori che hanno prodotto più articoli (Biblioshiny)

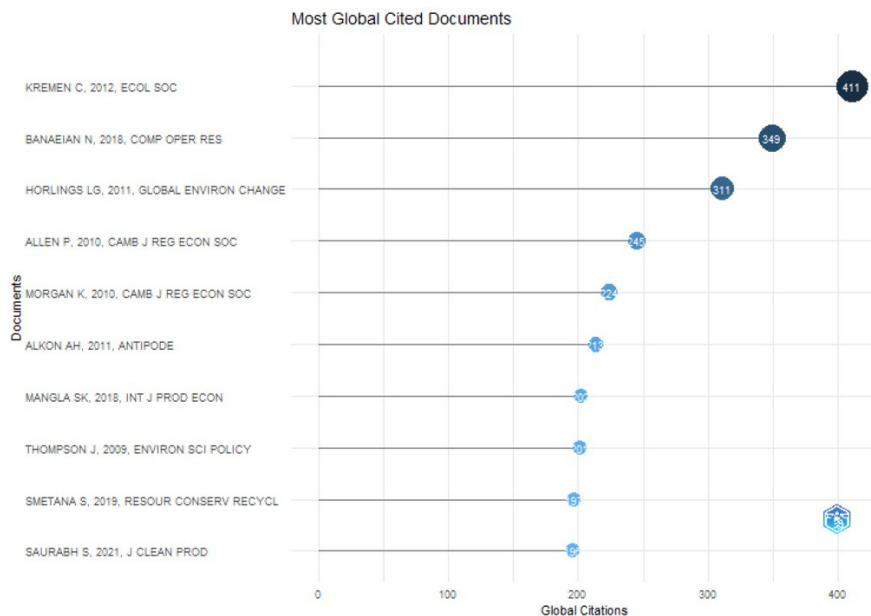


Figura 5 – Articoli più citati (Biblioshiny)

In una prospettiva bibliometrica, la qualità è intesa come l’impatto di una pubblicazione in relazione al numero di citazioni ricevute (Van Leuven et al., 2003; Smith, 2007). Questo indice è stato utilizzato per decenni nella valutazione formale delle pubblicazioni scientifiche (Liu et al., 2012). Tuttavia, alcuni autori lo considerano una misura di visibilità piuttosto che di qualità (Walter et al., 2003).

Le 1067 pubblicazioni prese in considerazione nell’analisi hanno ricevuto un totale di 19834 citazioni. Il numero medio di citazioni per pubblicazione è stato di 21,75. Del totale di questi articoli, 176 (16,49%) non hanno ricevuto alcuna citazione al momento dell’estrazione dei dati. Il 7,8 % (83 pubblicazioni) è stato citato almeno 50 volte e 31 pubblicazioni (3%) ha più di 100 citazioni in Scopus. La figura 5 riporta i documenti con citazioni superiori a 190. La frequenza delle citazioni riflette il numero di volte in cui le pubblicazioni sulla supply chain sostenibile nel settore agroalimentare sono state citate da altri documenti presenti in Scopus. Il numero di citazioni per pubblicazione considerato in questo studio è fornito da Scopus, anche se si possono considerare altre fonti, ad esempio Google Scholar o WoS.

4.1.4. Analisi della produttività dei Paesi

È interessante analizzare la produzione scientifica per nazione in quanto consente di revisionare se l'argomento della ricerca ha carattere globale e di individuare i *top country* per numero di pubblicazioni. Secondo i risultati analizzati, il numero totale di pubblicazioni associate al concetto di supply chain sostenibile nell'agrifood proviene da 96 paesi differenti.

Il numero totale di pubblicazioni considerato è di 4190, superiore alle 1067 recuperate da Scopus. Questo perché un articolo può essere scritto da più autori di diversi Paesi, con conseguente duplicazione del conteggio (Liu et al., 2012). Prendendo in considerazione i Paesi che hanno pubblicato un numero di articoli superiore a 10, vediamo che 4045 articoli (96% degli articoli considerati) sono stati citati in 48 paesi. Il Paese leader in termini di pubblicazioni sul fenomeno è l'Italia con 1018 articoli in Scopus (24,3% del numero totale di pubblicazioni), concentrate dal 2011 in poi. Questo risultato evidenzia che l'Italia può essere considerata una delle principali forze scientifiche emergenti (Zou et al. 2018). La seconda posizione è occupata dalla Spagna con un totale di 355 articoli (8,5%) con una produzione a partire dal 2009. L'Inghilterra occupa la terza posizione con 257 articoli a partire dal 2003. Seguono gli Stati Uniti e l'Olanda con una produzione rispettivamente di 241 e 203 documenti pubblicati a partire dal 1989 e dal 1999. La figura 6 mostra la produzione nel tempo per i cinque paesi che hanno prodotto un numero di pubblicazioni superiore a 200.

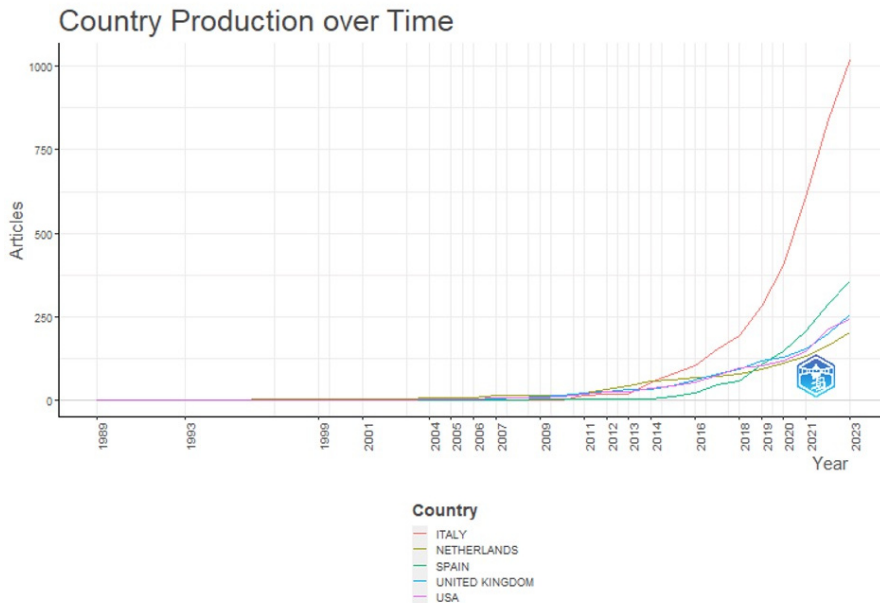


Figura 6 – Produzione nel tempo per Paese

4.1.5. Istituti

Un totale di 1361 istituti è stato coinvolto nei 1067 articoli raccolti che trattano il fenomeno. Dal momento che un autore può essere affiliato a più di un'organizzazione, o una pubblicazione può essere redatta da autori di diverse istituzioni, i risultati conteggiano un numero di articoli pari a 3722.

La figura 7 mostra i 10 istituti che hanno prodotti più articoli sulla supply chain sostenibile del settore agroalimentare. In particolare, la *Wageningen University* ha pubblicato 57 articoli sull'argomento. L'Università di Parma è in seconda posizione, con un numero di articoli associati pari a 42. Seguono l'Università di Catania (28 articoli) e l'università di Palermo (27 articoli). Altre due università italiane rientrano tra le istituzioni con un numero maggiore di pubblicazioni pari a 20. Nello specifico l'Università del Salento (22 articoli) e l'università di Torino (22 articoli). La lista conferma la posizione dell'Italia come paese leader nella pubblicazione di articoli su questo filone di ricerca.

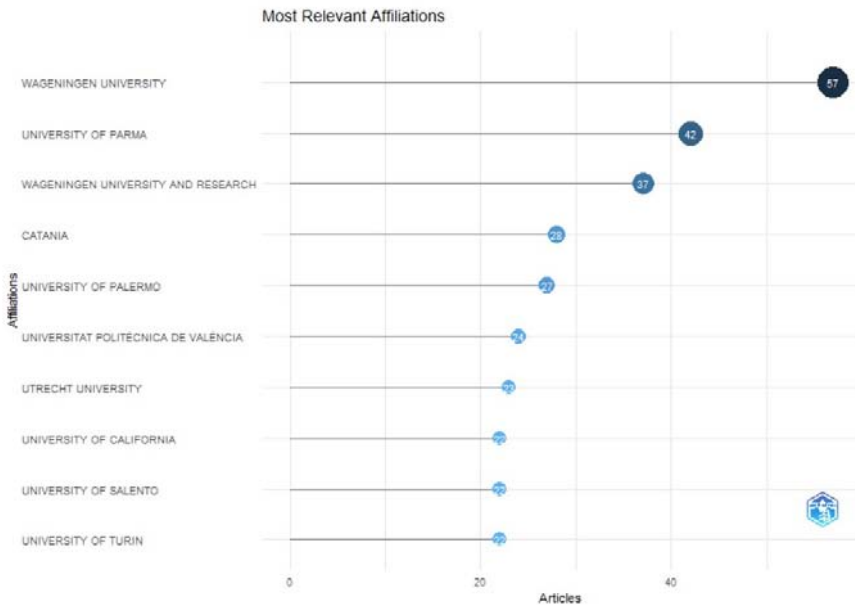


Figura 7 – Numero di pubblicazioni per organizzazione

4.2. Co-occurrence analysis

Nella presente sezione gli autori si focalizzano sull'analisi delle parole chiave proposte all'interno dei documenti dagli autori applicando una co-occurrence analysis al fine di individuare quali sono le principali aree tematiche che caratterizzano il filone di ricerca considerato. Nella co-occurrence le parole chiave che appaiono più frequentemente insieme all'interno di un documento possono determinare un'area tematica emergente, fornendo una panoramica dei principali argomenti e tendenze di ricerca (van Nunen et al., 2018).

Le parole di una co-occurrence analysis sono dedotte dalle “parole chiave dell'autore” e, in loro assenza, possono essere estratte anche dai “titoli degli articoli”, dagli “abstract” e dai “full text” per l'analisi (Donthu et al., 2021). Nella presente ricerca sono state considerate le parole chiave dell'autore.

Nello specifico vengono presentati 4 cluster tematici. Sono stati considerati i termini che appaiono insieme almeno 8 volte.

Per rappresentare graficamente le parole chiave e le loro connessioni è stato utilizzato il software VOSviewer. La figura 9 mostra il “network visualization” e permette di evidenziare le connessioni tra i diversi cluster. La dimensione di una parola indica il numero di volte in cui la parola chiave compare nelle pubblicazioni: più grande è la dimensione di un termine,

maggiore è il numero di pubblicazioni in cui la parola chiave è presente. Il colore di un termine indica il cluster a cui la parola appartiene.

La correlazione è rappresentata dal numero di volte in cui queste parole compaiono insieme. Le linee vengono utilizzate per indicare le relazioni di co-occorrenza più forti tra le parole chiave. È importante considerare la distanza tra i termini, minore è la distanza tra due parole, più forte è la relazione tra di loro. Nella mappa è visibile solo un sottoinsieme di tutte le etichette per evitare una sovrapposizione tra le stesse. La figura numero 10 invece mostra lo sviluppo temporale dei temi. Il colore di una parola indica l'anno medio di pubblicazione degli articoli in cui la parola chiave è presente. Più il colore di una parola si avvicina al blu, più vecchie sono le pubblicazioni in cui il termine appare. Al contrario, più il colore di un termine si avvicina al giallo più le pubblicazioni in cui la parola è presente sono recenti.

L'analisi rileva che le parole che hanno un livello più elevato di occorrenze e che quindi sono state utilizzate più spesso dagli autori per sintetizzare il tema dell'articolo sono “*sustainability*” con 300 occorrenze e “*agri-food sector*” con 297 occorrenze. Seguono “*agrifood supply chains*” (87), “*food security*” (50), “*circular economy*” (47) e “*life cycle assessment*” (46). Per i 4 cluster identificati viene fornita una descrizione delle parole chiave che li caratterizzano.

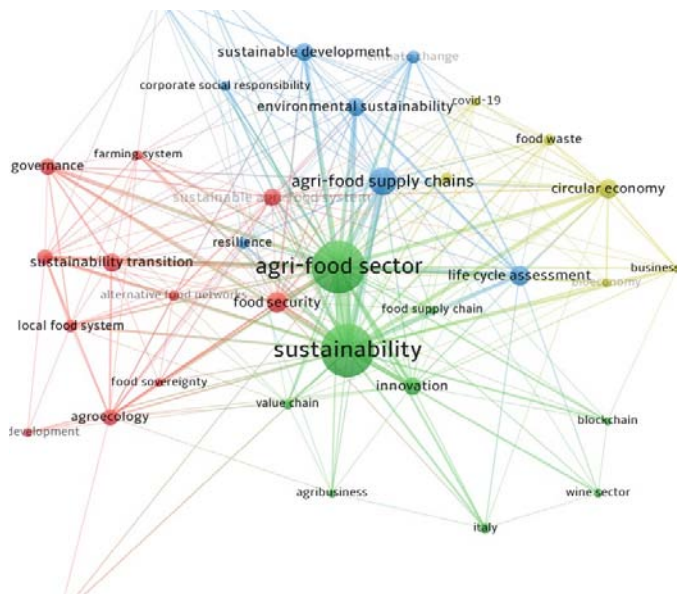


Figura 9 – Network visualization (VOSviewer)

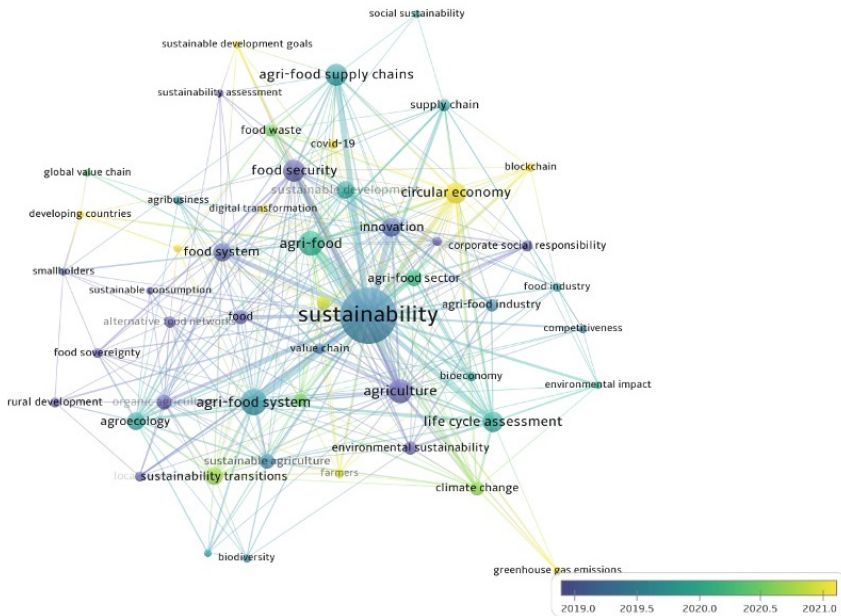


Figura 10 – Overlay visualization (VOSviewer)

Cluster 1: Agroecologia, sistemi alimentari sostenibili e sicurezza alimentare. In questo cluster sono contenute una serie di parole chiave che si collegano al tema dell'agroecologia, ai sistemi agroalimentari sostenibili e alla sicurezza alimentare. Le reti alimentari alternative, lo sviluppo rurale, i sistemi alimentari locali, l'agricoltura biologica rappresentano tematiche di ricerca strettamente connesse agli argomenti chiave del cluster. La parole con il numero più elevato di occorrenze nel cluster è "food security" a cui seguono "sustainability transition", "sustainable agri-food system", "agroecology", "organic agriculture", "local food system", "alternative food networks", "farming system", "rural development", "food sovereignty". Nella figura 10 è possibile vedere che l'interesse verso questi topic è piuttosto consolidato anche se alcune parole chiave sono state utilizzate più recentemente, nello specifico, "food security", "agroecology", e "rural development". Sembra essere il gruppo presente da più tempo in letteratura.

Cluster 2: Sostenibilità e innovazione tecnologia della supply chain. All'interno del gruppo 2 le parole chiave che si ripetono più frequentemente sono "sustainability" con 300 occorrenze e "agri-food sector" con 297 occorrenze. Seguono in ordine le parole "innovation", "value chain", "agri-busi-

ness”, “block chain”, “food safety”, “food supply chain”. Analizzando quindi le parole che compongono il cluster è possibile affermare che un altro tema rappresentativo dell’interesse della comunità scientifica è lo sviluppo della sostenibilità del settore tramite nuove innovazioni, in particolare l’utilizzo della blockchain.

Cluster 3: Impatti ambientali, sociali ed economici: strumenti e metodi. Nel gruppo 3 rientrano alcune parole chiave che si riferiscono a tecniche di valutazione della sostenibilità aziendale che si legano ad aspetti ambientali, sociali ed economici. Le due parole che hanno il livello più alto di occorrenza sono “agri-food supply chains” e “life cycle assessment” con un numero pari a 87 e 46 e “sustainable development” con un numero pari a 40. Seguono a queste parole chiave “environmental sustainability” (38) e poi “climate change”, “resilience” e “corporate social responsibility” (6), “sustainability assessment” (13) e infine “indicators” (10). Considerando la figura 10 è possibile affermare che molti di questi termini sono stati utilizzati all’interno degli articoli negli ultimi anni e che quindi questo cluster rappresenta un topic piuttosto nuovo nel filone di ricerca analizzato.

Cluster 4: nuovi paradigmi e sfide emergenti per la supply chain sostenibile. L’ultimo cluster è composto da parole chiave che fanno riferimento a tematiche di recente interesse. “circular economy” rappresenta la parola chiave dominante, seguita da “food waste”, “digital transformation”, “bioeconomy”, “covid 19” e “business models”.

5 Conclusioni

Il presente articolo ha contribuito alle ricerche esistenti investigando lo stato dell’arte della letteratura in merito allo studio della supply chain sostenibile nel settore agroalimentare e individuando i principali temi oggetto di indagine. Per raggiungere questo scopo è stata applicata la metodologia dell’analisi bibliometrica e sono stati analizzati gli articoli pubblicati fino a questo momento. Nello specifico, l’indagine ha contribuito in diversi modi alla ricerca esistente.

In primo luogo, ha permesso di evidenziare, esaminando il numero di pubblicazioni per ciascun anno, che nel corso del tempo vi è stato un aumento dell’interesse della comunità scientifica rispetto a questi temi. Inoltre, l’articolo ha contribuito a identificare i giornali che hanno pubblicato più frequentemente studi connessi al tema della ricerca, basandosi sui parametri utilizzati. Sono stati identificati gli articoli con il numero di citazioni più elevato. Sono state evidenziate, attraverso l’esame delle affiliazioni degli autori, le università che hanno contribuito maggiormente alla diffusione di articoli sulla supply chain sostenibile nell’agroalimentare. È stato

possibile mettere in evidenza i Paesi che hanno maggiormente contribuito alla produzione.

Attraverso l'applicazione della co-occurrence analysis gli autori hanno identificato le parole chiave con il più alto livello di occurrence e quindi utilizzate più spesso all'interno degli articoli: oltre a "sustainability", "agrifood sector" e "agrifood supply chains" che rappresentano l'oggetto del presente studio, le parole più utilizzate risultano essere "food security", "circular economy", "life cycle assessment" e "innovation". Infine, i quattro cluster identificati rappresentano i temi principali emersi nello studio preliminare di questo filone di ricerca: Cluster 1: Agroecologia, sistemi alimentari sostenibili e sicurezza alimentare Cluster 2: Sostenibilità e innovazione tecnologia della supply chain; Cluster 3: Impatti ambientali, sociali ed economici: strumenti e metodi; Cluster 4: nuovi paradigmi e sfide emergenti per la supply chain sostenibile.

Il lavoro di ricerca svolto, nonostante i contributi evidenziati, presenta alcune limitazioni che offrono spunti per ulteriori ricerche future. Sebbene Scopus sia considerato il più completo database online di letteratura peer-reviewed, pertinente alla ricerca sulle scienze sociali, non includendo altri database, potrebbe aver tralasciato alcuni studi. Il lavoro di ricerca svolto, nonostante i contributi evidenziati, presenta alcune limitazioni che offrono spunti per ulteriori ricerche future. Sebbene Scopus sia considerato il più completo database online di letteratura peer-reviewed pertinente alla ricerca sulle scienze sociali, non includendo altri database alcuni studi potrebbero essere stati tralasciati. Pertanto, le ricerche future dovrebbero ricorrere a ulteriori database per ampliare la visione del fenomeno indagato. Inoltre, gli studi futuri potrebbero prendere in considerazione la possibilità di includere altre parole chiave nella stringa di ricerca per ottenere una descrizione più ampia del campo di analisi e utilizzare altre tecniche di science mapping. Infine, sebbene nella presente ricerca gli autori abbiano preso in considerazione articoli di alta qualità, gli studi futuri potrebbero includere anche altri tipi di documenti, come atti di conferenze e capitoli di libri.

References

- AIDONIS, D., FOLINAS, D., ACHILLAS, C., TRIANTAFYLLOU, D., MALINDRETOS, G. (2015). Multi-criteria evaluation of sustainable supply chains in the agrifood sector. *International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics*, 1(2), 106-119. <https://doi.org/10.1504/IJSAMI.2015.070747>.
- ARAMYAN, L. (n.d.). *Measuring Supply Chain Performance in the Agri-Food Sector*.
- BÖRNER, K., CHEN, C., BOYACK, K.W. (2003). Visualizing knowledge domains. *Annual Review of Information Science and Technology*, 37, 179-255. <https://doi.org/10.1002/aris.1440370106>.
- CHIOU, T.Y., CHAN, H.K., LETTICE, F., CHUNG, S.H. (2011). The influence of greening the suppliers and green innovation on environmental performance and competitive advantage in Taiwan. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), 822-836. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.05.016>.
- CORSINI, F., CERTOMÀ, C., DYER, M., FREY, M. (2019). Participatory energy: Research, imaginaries and practices on people' contribute to energy systems in the smart city. *Technological Forecasting and Social Change*, 142(December 2017), 322-332. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.02>.
- DONTHU, N., KUMAR, S., MUKHERJEE, D., PANDEY, N., LIM, W.M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133(May), 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>.
- KRAMMER, S.M.S. (2022). Navigating the New Normal: Which firms have adapted better to the COVID-19 disruption? *Technovation*, 110(November 2020), 102368. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102368>.
- KREY, N., PICOT-COUCPEY, K., CLIQUET, G. (2022). Shopping mall retailing: A bibliometric analysis and systematic assessment of Chebat's contributions. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 64(September 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102702>.
- MALONI, M.J., BROWN, M.E. (2006). Corporate social responsibility in the supply chain: An application in the food industry. *Journal of Business Ethics*, 68(1), 35-52. <https://doi.org/10.1007/s10551-006-9038-0>.
- OJO, O.O., SHAH, S., COUTROUBIS, A., JIMENEZ, M.T., OCANA, Y.M. (2018). Potential Impact of Industry 4.0 in Sustainable Food Supply Chain Environment. 2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions, ICTMOD 2018, 172-177. <https://doi.org/10.1109/ITMC.2018.8691223>.

- OZDEMIR, D., SHARMA, M., DHIR, A., DAIM, T. (2022). Supply chain resilience during the COVID-19 pandemic. *Technology in Society*, 68(October 2021), 101847. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101847>.
- PREUSS, L. (2009). Linked references are available on JSTOR for this article: Ethical Sourcing Codes of Large UK-Based Corporations: Prevalence , Content , Limitations. *Journal of Business Ethics*, 88(4), 735-747. <https://doi.org/10.1007/s10551-008-9978-7>.
- VASILEIOU, K., MORRIS, J. (2006). The sustainability of the supply chain for fresh potatoes in Britain. *Supply Chain Management*, 11(4), 317-327. <https://doi.org/10.1108/13598540610671761>.
- VIEIRA, E.S., GOMES, J.A.N.F. (2009). A comparison of Scopus and Web of science for a typical university. *Scientometrics*, 81(2), 587-600. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-2178-0>.
- VISENTIN, C., DA SILVA TRENTIN, A.W., BRAUN, A.B., THOMÉ, A. (2019). Application of life cycle assessment as a tool for evaluating the sustainability of contaminated sites remediation: A systematic and bibliographic analysis. *Science of the Total Environment*, 672, 893-905. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.034>.
- ZUPIC, I., ČATER, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>.

La Supply Chain dei prodotti della catena del fresco: impatti ambientali e opportunità di miglioramento

Sara Toniolo

Università degli Studi di Verona

Ilenia Bravo

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Ivan Russo

Università degli Studi di Verona

Patrizia Papetti

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

ABSTRACT

Il miglioramento della disponibilità di alimenti e l'efficientamento della supply chain allo scopo di ridurre sprechi e perdite di valore, sono alcuni dei temi maggiormente approfonditi nel settore agroalimentare. Tuttavia, la gestione della supply chain alimentare è un processo complesso, a causa degli elevati standard qualitativi relativi alle caratteristiche organolettiche e funzionali degli alimenti; in particolare, quella degli orticoli cosiddetti "freschi", per i quali è necessario mantenere le caratteristiche sensoriali e nutritive fino al momento del consumo. Ne deriva, quindi, l'esigenza di analizzare i più comuni indicatori di prestazione ambientale che nel settore orticolo riguardano i consumi di acqua e energia, l'utilizzo di sostanze chimiche per fertilizzare e concimare, l'utilizzo di imballaggi e il trattamento di prodotti di scarto. Tali indicatori, in questa ricerca, sono stati studiati attraverso un'analisi bibliografica con l'obiettivo di esplorare la supply chain dei prodotti a taglio fresco attraverso la prospettiva di ciclo di vita, evidenziandone gli impatti ambientali, anche in riferimento alla loro distribuzione.

Lo studio presenta una review basata su 40 articoli pubblicati tra il 2007 e il 2022, presenti nella banca dati ISI Web of Knowledge. È stata svolta una analisi descrittiva per valutarne le principali caratteristiche, classificarli in base agli aspetti analizzati e alla prospettiva di ciclo di vita utilizzata.

Lo studio evidenzia come una migliore conoscenza della supply chain dei prodotti della catena del fresco sia necessaria per comprendere come ridurre gli impatti ambientali e operare in modo più sostenibile lungo l'intero ciclo di vita dei prodotti.

PAROLE CHIAVE: prodotti taglio fresco; impatti ambientali; supply chain.

1. Introduzione

L'aumento dell'approvvigionamento alimentare, determinato anche dal cambiamento negli stili di vita e nelle abitudini di consumo, ha portato a un dispendio esponenziale di risorse e di energia non rinnovabile, e a un aumento dei relativi impatti ambientali, come per esempio l'impronta idrica e di carbonio. I modelli di consumo alimentare incidono sul riscaldamento globale, e la loro distribuzione è responsabile di elevate emissioni di gas ad effetto serra (Stone, et al., 2021). Il mantenimento delle caratteristiche di qualità degli alimenti freschi, i cambiamenti nei regimi di temperatura, l'uso di risorse, gli oneri ambientali, e le misure di efficienza energetica, rappresentano elementi essenziali da considerare per ridurre gli impatti lungo la supply chain (Liu, et al., 2018).

Frutta e verdura rappresentano un elemento indispensabile dei regimi dietetici attuali, sia come prodotti freschi sia come semilavorati. Secondo la European Fresh Produce Association, l'assunzione media europea di frutta e verdura fresche, è di circa 364 g pro capite, di cui 212 g di frutta e 152 g di verdure (Raffo e Paoletti, 2022), mentre l'Organizzazione Mondiale della Sanità ne raccomanda un consumo giornaliero di circa 400 grammi (Anderson, et al., 2005).

Sul mercato, gli alimenti cosiddetti "freschi", vengono definiti di IV gamma, ovvero prodotti che sono sottoposti a processi tecnologici di minima entità finalizzati a garantirne la sicurezza igienica e la valorizzazione. Tali alimenti subiscono procedure di lavorazione minime (lavaggio, selezione, sbucciatura, affettatura, triturazione, porzionatura), operazioni che non hanno alcun potenziale effetto sui nutrienti e sulla qualità del prodotto finale. Sono immessi in brevissimo tempo sul mercato ortofrutticolo, confezionati in porzioni sigillate e nel rispetto del mantenimento della catena del freddo (Delgado, et al., 2023). Non essendo sottoposti quindi a trattamenti termici o a completa trasformazione, gli alimenti di IV gamma sono più soggetti a deperibilità durante le diverse fasi, rispetto ad alimenti che subiscono processamento, i quali tendono a conservare più a lungo le loro caratteristiche qualitative. Insalate, zuppe e minestrone, preparati di frutta e verdura freschi, sono caratterizzati da conservabilità a breve termine. La durata commerciale di questi prodotti si aggira solitamente tra i 3-4 giorni, fino ad un massimo di 10 giorni, secondo la tipologia di alimento (Ma, et al., 2017).

I prodotti di IV gamma, introdotti in Europa alla fine degli anni '70, assumono un peso significativo nel Regno Unito, in Italia, Francia e Olanda, con oltre 400 milioni di confezioni presenti in commercio (Galioto, et al., 2022). In Italia, il settore è caratterizzato da una forte concentrazione territoriale; Campania, Lombardia e Veneto, sono le Regioni dove

vengono svolte maggiori attività di trasformazione dei prodotti di tipo orticolo. In particolare rucola, insalate e radicchi rappresentano l'80% degli acquisti da parte dei consumatori italiani. Per quanto riguarda il settore frutticolo, in Trentino, e in altre regioni del Nord Italia, sono svolte le maggiori attività di trasformazione di mele e piccoli frutti (Parmigiani, 2021).

Nonostante abbia subito perdite di volume fino all' 8,6%, l'interesse per i prodotti di IV gamma è in costante crescita. Grazie alla loro praticità e facilità di consumo, nel primo semestre del 2023, hanno generato un fatturato di circa 500 milioni di euro (Baselice, et al., 2017; Parmigiani, 2021). Lo sviluppo di questo settore, ha portato a una differenziazione di prodotto e a un aumento della competitività, sviluppando anche l'indotto, ovvero le tecnologie, i processi e i materiali, quali per esempio, macchine agricole di precisione, sementi e packaging. Sono oltre 500 le aziende agricole impegnate nella produzione di ortaggi destinati esclusivamente alla IV gamma, le quali coltivano una superficie di 6.500 ettari, costituita principalmente da serre (Sandhu, et al., 2019; Singla, et al., 2020; Parmigiani, 2021). La prossimità spaziale delle diverse fasi del processo produttivo, obbligata da esigenze imposte dalla deperibilità del prodotto, ha portato allo sviluppo di veri e propri poli produttivi in grado di condizionare il reddito e l'occupazione di diverse comunità locali. Tale ambito si estende pertanto, oltre le questioni ambientali ed economiche, ad aspetti di tipo sociale, producendo nei consumatori, un aumento dell'interesse e dell'attenzione verso la ricerca di alimenti di qualità (Bortolini, et al 2016; Wang, et al., 2020). Il mantenimento della qualità, anche in termini di ricchezza di fibre e sali minerali, antiossidanti e basso contenuto calorico, rappresenta una delle principali sfide dell'industria alimentare e il controllo della temperatura è uno dei fattori ambientali tra i più importanti, che influenza il tasso di deterioramento del prodotto post-raccolta (Ghezavati, et al., 2017).

Per mantenere un prodotto entro uno specifico intervallo di temperature, dal raccolto, alla produzione e all'utilizzo, sono necessarie condizioni di temperature controllate, e in alcuni casi, controlli dell'atmosfera protettiva. Alcuni tipi di preparazione richiedono temperature nel range di 0-4 °C, mentre altre tipologie, temperature fra i 5-9 °C (Berno, et al., 2014; Zhao, et al., 2022). A tal riguardo, i sistemi nella catena del freddo possono includere impianti di preraffreddamento e congelamento, magazzini di conservazione frigorifera, camion refrigerati, congelatori, vetrine e frigoriferi domestici, caratterizzati da importante dispendio energetico (Diaz et al., 2022). Inoltre, i processi per aggiungere gli additivi gassosi, quali ossigeno, ozono, etilene, vapore acqueo, azoto e anidride carbonica per aumentare la conservabilità, garantire la sicurezza e inibire le reazioni enzimatiche, risultano essere processi estremamente energivori (Mistriotis, et al., 2016; Malak-Rawlikowska, et al., 2020; Tsironi and Giannakourou, 2021).

Il mancato rispetto di queste condizioni può tradursi in alterazioni del prodotto (Giuggioli, et al. 2017; Pedreschi et al., 2022), rendendolo non più adatto per il consumatore con conseguenti ripercussioni in termini di perdite economiche, di produttività e spreco alimentare (Diaz, et al., 2022). La refrigerazione e i magazzini refrigerati, quindi, oltre a garantire una protezione durante il deposito e il trasferimento del prodotto, consentono ai produttori di consolidarne i volumi e utilizzare i mezzi di trasporto in modo efficiente (Alzubi and Noche, 2022).

Tuttavia, il trasporto dell'ortofrutta fresca è uno degli elementi di maggiore impatto (Caracciolo, et al., 2017). Le emissioni dalle strutture di stoccaggio e trasbordo rappresentano un quarto delle emissioni totali del settore della logistica delle merci e quasi il 15% delle emissioni è il risultato diretto delle attività nei siti logistici (Rüdiger, et al. 2016; Rüdiger, et al. 2017). Lo stoccaggio e la movimentazione di un pallet di frutta in un magazzino frigorifero commerciale di larga scala, richiede 7,62 kWh di elettricità al giorno e 7,52 kg di CO₂ eq/d (Du Plessis, et al., 2022).

In questo contesto, la presente ricerca, ha quindi l'obiettivo di analizzare gli impatti ambientali dovuti alle diverse fasi di approvvigionamento dei prodotti di IV gamma secondo una prospettiva di ciclo di vita, evidenziando le principali soluzioni per migliorare la sostenibilità della supply chain dei prodotti a taglio fresco.

2 Metodologia

In linea con l'obiettivo, questo studio risponde alle seguenti domande di ricerca (RQ):

- RQ1: Quali sono gli aspetti associati ai prodotti a taglio fresco esplorati con una prospettiva di ciclo di vita?
- RQ2: Quali soluzioni possono ridurre gli impatti ambientali associati ai prodotti a taglio fresco da una prospettiva di ciclo di vita?

Per rispondere a queste domande, è stata sviluppata una analisi della letteratura sistematica per sintetizzare e confrontare le evidenze empiriche, in linea con Snyder (2019). La ricerca è stata svolta seguendo gli step suggeriti da Durach, et al. (2017), ovvero raccolta degli articoli, selezione e analisi del contenuto.

2.1 Ricerca della letteratura

L'unità di analisi del presente lavoro di ricerca è costituita dai singoli articoli scientifici pubblicati in riviste o atti di convegno accademici. La ricerca è stata sviluppata seguendo questi step:

- Raccolta degli articoli. È stata svolta una ricerca per parole chiave nel database ISI Web of Knowledge con un orizzonte temporale dal 2000 al 2022. Le parole chiave sono state selezionate e combinate per raccogliere gli articoli riguardanti il focus dello studio. La combinazione finale di parole chiave è la seguente: (“supply chain” AND (cold OR fresh OR chilled OR frozen OR “ultra fresh” OR “fresh cut*” OR “fresh-cut*”)) AND (“life cycle assessment” OR lca OR “carbon footprint”) AND (fruit OR vegetable*). Sono stati presi in considerazione solo articoli scritti in Inglese. Al termine di questa fase sono stati ottenuti 71 articoli.
- Selezione degli articoli. Gli articoli ottenuti dallo step precedente sono stati filtrati, includendo soltanto articoli che riguardassero i prodotti a taglio fresco e applicassero una prospettiva di ciclo di vita, selezionando così 40 articoli, che sono stati poi analizzati in modo approfondito.

2.2 Analisi della letteratura

Una analisi descrittiva degli articoli selezionati è stata svolta per valutarne le principali caratteristiche, quali per esempio l’anno di pubblicazione, il nome della rivista o del convegno, l’affiliazione del primo autore, e il Paese in cui è svolta la ricerca. L’analisi dei contenuti si è basata sulle domande della ricerca, analizzando in particolare i seguenti elementi:

- In riferimento alla domanda di ricerca RQ1, sono stati studiati gli aspetti dei prodotti a taglio fresco esplorati con una prospettiva di ciclo di vita: coltivazione, trasporto verso i siti di lavorazione, le operazioni di lavorazione, trasporto verso i retailers, attività di utilizzo da parte dei consumatori.
- In riferimento alla domanda di ricerca RQ2, sono state studiate le soluzioni che possono ridurre gli impatti ambientali, soprattutto in riferimento al mantenimento della temperatura controllata, ai consumi di carburante, alle emissioni in acqua, alle emissioni di gas ad effetto serra.

3 Risultati e discussioni

Dalla ricerca svolta, è possibile evidenziare le caratteristiche degli articoli studiati e il loro contenuto.

3.1 Caratteristiche degli articoli

Sulla base dell’analisi delle caratteristiche degli articoli, si sono ottenuti i seguenti risultati. In riferimento al periodo di pubblicazione, il

primo articolo sul tema è stato pubblicato nel 2007 e la maggior parte degli articoli selezionati è stata pubblicata negli ultimi 10 anni (37 articoli su 40), dimostrando che l'interesse su questo argomento è stato limitato per diverso tempo, ma che sta crescendo (Figura 1).

Le riviste con il maggior numero di contributi sono il *Journal of Cleaner Production* e *Sustainability*, entrambi con 7 articoli ciascuno, seguiti dall'*International Journal of Life Cycle Assessment* (3 contributi), *Applied Energy* (2 contributi) e *Sustainable Production and Consumption* (2 contributi). Gli altri articoli sono pubblicati in 18 riviste diverse, dimostrando la trasversalità della tematica tra riviste che si occupano di agricoltura, ambiente e gestione del territorio.

Il Paese con il maggior numero di ricerche pubblicate, sulla base dell'affiliazione dei primi autori, è l'Italia (8 articoli), seguita dalla Spagna (6 articoli) e gli Stati Uniti (4 articoli). Per quanto riguarda l'ambito geografico degli studi effettuati, emerge che la metà di questi è effettuata in Europa, rispecchiando quindi l'affiliazione dei primi autori. Vi sono però anche studi effettuati da ricercatori cinesi con il Giappone come ambito geografico, o effettuati da ricercatori Tedeschi in Giordania, dimostrando come gli studi possano riguardare anche ambiti territoriali ampi e di livello globale (Figura 2).

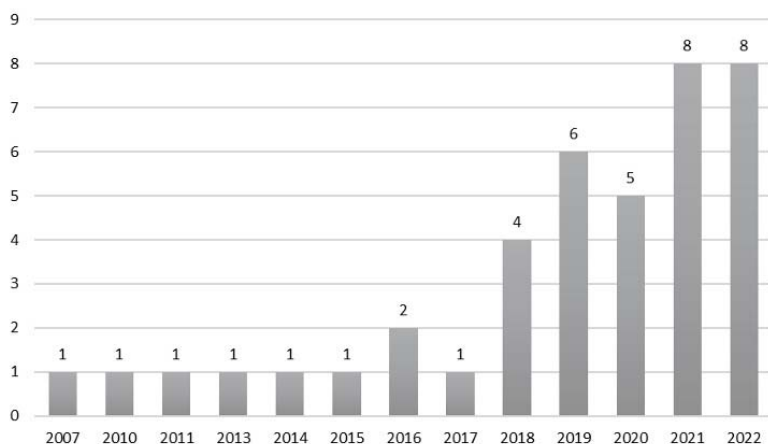


Figura 1 – Numero di studi pubblicati dal 2007 al 2022

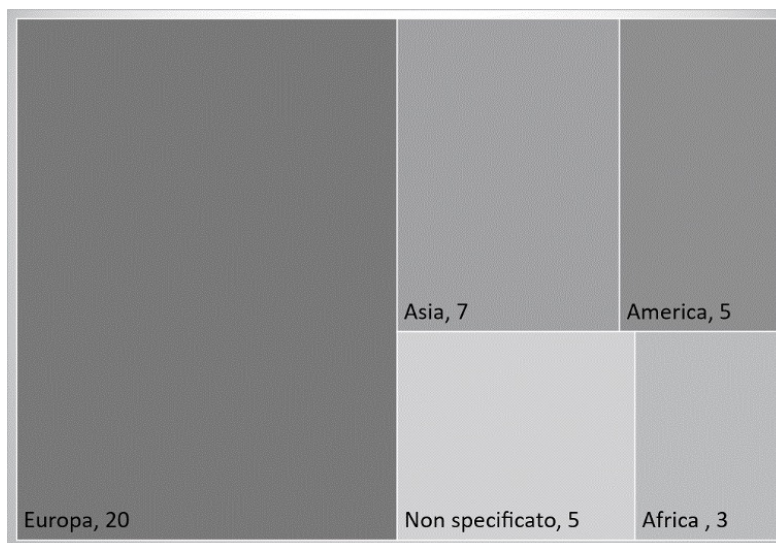


Figura 2 – Ambito geografico degli studi analizzati

3.2 Analisi del contenuto

L'analisi del contenuto degli articoli evidenzia come la supply chain dei prodotti a taglio fresco sia analizzata da più punti di vista. I prodotti oggetto di studio sono differenti, anche se alcuni risultano più ricorrenti, quali per esempio: pomodori (Camilo, et al., 2020; Hu, et al., 2019; Payen, et al., 2015; Parajuli, et al., 2021; Pérez Neira, et al., 2018; Xue, et al., 2021), patate (Caracciolo, et al., 2018; Hu, et al., 2019; Parajuli, et al., 2021), olio di palma (Arshad, et al., 2019; Choo, et al., 2011; Munasinghe, et al., 2019; Subramaniam, et al., 2021), lattuga (Rufi-Salís, et al., 2020; Stone, et al., 2021) e mele (Iriarte, et al., 2021; Frankowska, et al., 2019; Loiseau, et al., 2020). Altri prodotti analizzati sono: albicocche, avocado, broccoli, castagne, cedri, ciliegie, spinaci, rucola, bietole, mango e mirtilli. Alcuni studi non specificano la tipologia di prodotto, soprattutto quelli focalizzati sul packaging e sul trasporto e la distribuzione.

Gli aspetti associati ai prodotti a taglio fresco esplorati con una prospettiva di ciclo di vita sono molteplici e includono (Figura 1):

- Packaging. Sono analizzati i materiali per la produzione degli imballaggi e l'ottimizzazione degli imballi stessi, in termini di volumi contenuti.
- Processo industriale di lavorazione/produzione. Molti articoli presentano una analisi delle operazioni di lavorazione dei prodotti a taglio fresco e della loro preparazione per la vendita.

- Trasporto e distribuzione. Sono analizzate le attività di trasporto dai siti di coltivazione a quelli di lavorazione; nonché la distribuzione verso i retailers.
- Processo di conservazione a temperatura controllata e non. Diversi studi analizzano le attività di mantenimento dei prodotti nei magazzini o durante il trasporto.
- Coltivazione. Sono presenti studi che valutano gli impatti dei processi di semina e raccolta dei prodotti.
- Produzione e gestione del biowaste generato. Vi sono articoli che esplorano le attività di recupero e smaltimento degli scarti generati lungo le fasi del ciclo di vita.
- Distribuzione commerciale. Sono presenti studi che analizzano le operazioni che avvengono durante le attività di vendita.
- Abitudini dei consumatori. Sono emerse delle ricerche che studiano le attività svolte dai consumatori, come per esempio mantenimento dei prodotti in casa o trasporto verso i siti di vendita per l'acquisto.

In alcuni casi gli autori si focalizzano su un aspetto, in particolare quelli che analizzano le possibilità di miglioramento del packaging trascurano il contenuto a favore di uno studio più approfondito dell'imballaggio; altri invece applicano la prospettiva di ciclo di vita in modo ampio con approcci soprattutto *from cradle to gate* (Tabella 1).

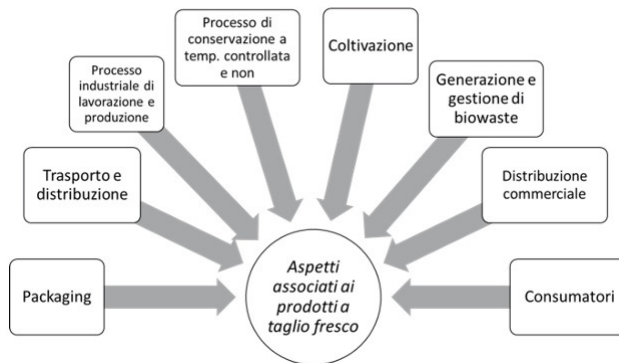


Figura 3 – Aspetti associati ai prodotti a taglio fresco

Gli impatti maggiori lungo la supply chain dei prodotti a taglio fresco possono essere associati a diverse fasi sulla base di quanto lo studio è

ampio e di quanti processi include. In diversi studi, gli impatti maggiori sono dovuti alla distribuzione (Camilo et al., 2020), in particolare per via area ma anche in relazione ai mezzi a temperatura controllata gestiti in modo non efficiente (Sanderson et al., 2019). Nel caso dello studio sviluppato da Dong e Miller (2021) sono le attività di conservazione a freddo nei magazzini e durante il trasporto le principali cause di emissione di gas ad effetto serra; tuttavia, lo studio si focalizza sulla distribuzione, tralasciando altri aspetti. Questo è riscontrato anche nello studio di Frankowska et al. (2019), dove la conservazione a freddo rappresenta un importante contributo soprattutto per i prodotti che vengono conservati per tempi più lunghi. In altri casi, importanti contributi sono dovuti al trasporto dei lavoratori stagionali per recarsi nei luoghi di coltivazione (Sanderson, et al., 2019), all'utilizzo di fertilizzanti (Munasinghe, et al., 2019) e all'utilizzo della plastica per la realizzazione delle serre (Hu, et al., 2019).

Packaging	Accorsi et al. (2014); Battini et al., 2016; Bortolini et al. 2018; Frankowska et al. 2019; Hu et al., 2019; Iriarte et al. 2021; Loiseau et al., 2020; López-Gálvez et al. 2021; Payen et al. 2015; Peano et al., 2017; Pérez Neira et al. 2018; Sanderson et al. 2019; Stone et al. (2021); Vigil et al. (2020); Wang et al., 2022
Processo industriale di lavorazione/produzione	Boenzi et al. (2022); Choo et al. 2011; Frankowska et al. 2019; Iriarte et al. 2021; Hu et al., 2019; Loiseau et al., 2020; López-Gálvez, et al. 2021a; Milà i Canals 2010; Payen et al. 2015; Parajuli, et al. 2021; Parrot et al., 2022; Pérez-Neira et al. 2018; Rufi-Salís et al. 2020; Sanderson et al. 2019; Savino et al., 2013; Stone et al. (2021); Subramaniam et al. 2020; Xue et al., 2021
Trasporto e distribuzione	Accorsi et al., 2014; Alzubi and Noche 2022; Arshad et al. 2019; Bortolini et al., 2016; Camilo et al. 2020; Caracciolo et al., 2018; Diaz et al., 2022; Dong e Miller 2021; Frankowska et al. 2019; Hu et al., 2019; Iriarte et al. 2021; Loiseau et al., 2020; López-Gálvez, et al. 2021a; Munasinghe et al. 2019; Payen et al. 2015; Parrot et al., 2022; Pedreschi et al. 2022; Pérez-Neira et al. 2018; Sim et al., 2007; Sanderson et al. 2019; Savino et al., 2013; Stone et al. (2021).

Processo di conservazione a temperatura controllata e non	Burek and Nutter 2020; Diaz et al., 2022; Dong e Miller 2021; du Plessis et al. 2022; Frankowska et al. 2019; Hu et al., 2019; Iriarte et al. 2021; Loiseau et al., 2020; López-Gálvez, et al. 2021b; Payen et al. 2015; Parrot et al., 2022; Sanderson et al. 2019; Xue et al., 2021; Wu et al. 2019.
Coltivazione	Frankowska et al. 2019; Hu et al., 2019; Iriarte et al. 2021; Loiseau et al., 2020; López-Gálvez, et al. 2021a; Milà i Canals 2010; Munasinghe et al. 2019; Parajuli, et al. 2021; Parrot et al., 2022; Payen et al. 2015; Rufi-Salís et al. 2020; Sanderson et al. 2019; Subramaniam et al. 2020; Xue et al., 2021
Generazione e gestione di biowaste	Dong e Miller 2021; Frankowska et al. 2019; Parajuli, et al. 2021; Stone et al. (2021); Xue et al., 2021;
Distribuzione commerciale	Burek and Nutter 2020; Dong e Miller 2021; Frankowska et al. 2019; Iriarte et al. 2021; Loiseau et al., 2020; López-Gálvez, et al. 2021a; Parrot et al., 2022
Consumatori	Dong e Miller 2021; Iriarte et al. 2021; Li et al., 2022; Loiseau et al., 2020; Parrot et al., 2022

Tabella 1 – Aspetti associati ai prodotti a taglio fresco esplorati con una prospettiva di ciclo di vita e bibliografia di riferimento

Le soluzioni proposte per ridurre gli impatti associati ai prodotti a taglio fresco da una prospettiva di ciclo di vita riguardano prevalentemente il packaging, il trasporto e la distribuzione, le attività di retailing, la conservazione a temperatura controllata e non, e la coltivazione. In modo marginale sono presentate soluzioni in relazione al processo di produzione e lavorazione e alla gestione degli scarti generati. Le soluzioni proposte negli studi riguardano i seguenti aspetti:

- Packaging. L'utilizzo di active food packaging (film antibatterici), in alcuni casi utilizzando in combinazione anche film a impatto ambientale inferiore si possono ridurre gli impatti associati ai prodotti a taglio fresco (Peano et al., 2017; Vigil, et al., 2020); inoltre un mix bilanciato tra packaging riutilizzabile e monouso permette di ottenere impatti più bassi (Bortolini et al., 2018). Risulta utile inoltre integrare gli studi sulla qualità degli alimenti, mantenuta grazie agli imballaggi, con analisi di impatto ambientale soprattutto per la conservazione a temperatura controllata (Wu et al. 2019).

- Trasporto e distribuzione. Il trasporto su rotaia può ridurre gli impatti ambientali associati ai consumi di carburante assicurando tempi di spedizione ragionevoli (Caracciolo et al., 2018), così come l'utilizzo di mezzi più efficienti e l'eliminazione del trasporto aereo (Sanderson et al., 2019). Dal punto di vista della localizzazione dei siti risulta utile la loro ottimizzazione, la presa in carico di una migliore gestione della reverse logistics (Alzubi and Noche, 2022) e la riduzione delle distanze percorse per migliorare la gestione della shelf-life (Boenzi et al., 2022). Sanderson et al. (2019) suggeriscono di includere sempre la distribuzione negli studi di impatto ambientale dei prodotti agricoli.
- Distribuzione commerciale. Tra le soluzioni proposte dalla letteratura vi sono la riduzione del tempo durante il quale i prodotti sono all'interno dei supermercati, poiché le attività di conservazione a freddo sono fonti di emissione di gas ad effetto serra, associati ai consumi energetici e ai rilasci di refrigeranti (Burek and Nutter, 2020).
- Processo di conservazione a temperatura controllata e non. Dagli studi analizzati emerge come le lunghe tempistiche delle attività di conservazione a temperatura controllata (storage/trasporto) rappresentano un elemento importante di miglioramento (Burek and Nutter, 2020; Dong and Miller, 2021). Di conseguenza, la riduzione dei rilasci di refrigeranti e l'utilizzo di tecnologie efficienti possono limitarne gli effetti (Dong and Miller, 2021). Risulta utile, inoltre, lo sviluppo di un metodo di raccolta dati che permetta di comprendere i consumi e le emissioni associati alla conservazione a freddo (Du Plessis, et al., 2022).
- Processo industriale di lavorazione/produzione. Una delle sfide riguarda la generazione di food loss durante i processi di lavorazione e produzione, ricollegabile anche agli aspetti di gestione del biowaste (Dong and Miller, 2021), che può essere affrontata integrando concetti di circolarità (Alzubi and Noche, 2022) e favorendo una produzione a ridotti consumi in combinazione con una supply chain locale (Pérez-Neira and Grollmus-Venegas, 2018). A questi, si aggiunge l'utilizzo di energia da fonte rinnovabile, confermato come uno dei modi per ridurre l'impatto sull'ambiente (Hu, et al., 2019).
- Coltivazione. Uno degli aspetti maggiormente sfidanti riguarda gli elevati consumi di acqua (Subramaniam, et al., 2021). Prendere in considerazione i consumi di acqua, differenziando tra volumi utilizzati e fonti di approvvigionamento potrebbe migliorare la conoscenza di tali aspetti (Milà i Canals, 2010), anche se tut-

tora risulta difficile calcolare gli impatti associati ai consumi della risorsa idrica e i relativi danni, al punto che le attuali valutazioni potrebbero comunque risultare sottostimate (Payen, et al., 2015). Alle problematiche legate alla risorsa idrica, si aggiungono quelle relative ai consumi energetici, in relazione alle quali l'utilizzo di tecnologie efficienti (Dong and Miller, 2021), quali per esempio sistemi di riscaldamento ottimizzati in serre multi-tunnel anche nei Paesi di origine dei prodotti, può portare a delle riduzioni degli impatti ambientali (Pérez-Neira et al., 2018). Risulta utile inoltre, una adeguata formazione dei coltivatori e piani di miglioramento delle pratiche agricole (Alzubi and Noche, 2022).

I risultati ottenuti quindi fanno emergere gli aspetti principali analizzati dagli studi LCA dei prodotti a taglio fresco, evidenziando le fasi di ciclo di vita maggiormente studiate, i principali contributi agli impatti e le soluzioni per ridurli. Tuttavia, l'identificazione degli impatti e dei contributi maggiori è influenzata dall'ampiezza dei confini dei sistemi applicati nei diversi studi. Di conseguenza, alcuni aspetti possono risultare rivelanti attraverso una prospettiva *from cradle to gate*, ma essere meno significativi se si estendesse il ciclo di vita fino alla fase di utilizzo o fino alla fase di end of life. Le soluzioni proposte nelle ricerche studiate riguardano quindi gli aspetti più esplorati, ovvero materiali per gli imballi, i trasporti e le attività per la conservazione a temperatura controllata, e la coltivazione; facendo emergere la minore attenzione alla fase di utilizzo e alla generazione degli scarti lungo il ciclo di vita.

Andando oltre i limiti dei diversi studi, da una analisi incrociata degli articoli studiati, è possibile delineare un insieme di aspetti critici e azioni di miglioramento che possono essere intraprese dai diversi attori lungo la supply chain.

I risultati ottenuti consentono quindi, a partire da una prospettiva di ciclo di vita, di identificare le possibili implicazioni a livello di supply chain, come segue (Figura 2):

- Per i fornitori emerge che i consumi di risorse quali acqua e energia costituiscono un importante contributo all'impatto ambientale che potrebbe essere gestito attraverso la formazione dei coltivatori e l'utilizzo di piani di monitoraggio e miglioramento delle pratiche agricole. Un altro aspetto importante è rappresentato dagli imballaggi, per i quali risulta utile l'impiego di materiali innovativi e un'ottimizzazione dei volumi.
- Per i produttori, come per i fornitori, i consumi energetici rappresentano un contributo importante all'impatto. Oltre a questo, risulta importante la generazione di rifiuti e il food loss durante

le lavorazioni, rendendo utile l'attivazione di circular loops attraverso i quali sia possibile utilizzare il biowaste generato e progettando una supply chain il più possibile locale.

- Per i trasportatori e i gestori di magazzini e depositi, i rilasci di gas refrigeranti, le emissioni e i consumi energetici costituiscono degli aspetti critici che possono essere affrontati attraverso una sistematizzazione del processo di monitoraggio e quindi della raccolta dei dati e ottimizzando la localizzazione dei siti logistici.
- Per i punti vendita, emerge come i due aspetti principali siano i consumi energetici, che possono essere ridotti attraverso operazioni di efficientamento degli edifici e il food loss associato ai prodotti scaduti, migliorabile con una migliore gestione delle scorte acquistate e riducendo i tempi dei prodotti nei supermercati.
- Per i consumatori gli aspetti critici riguardano i consumi e le emissioni associati al trasporto verso i punti vendita e allo spreco alimentare domestico.

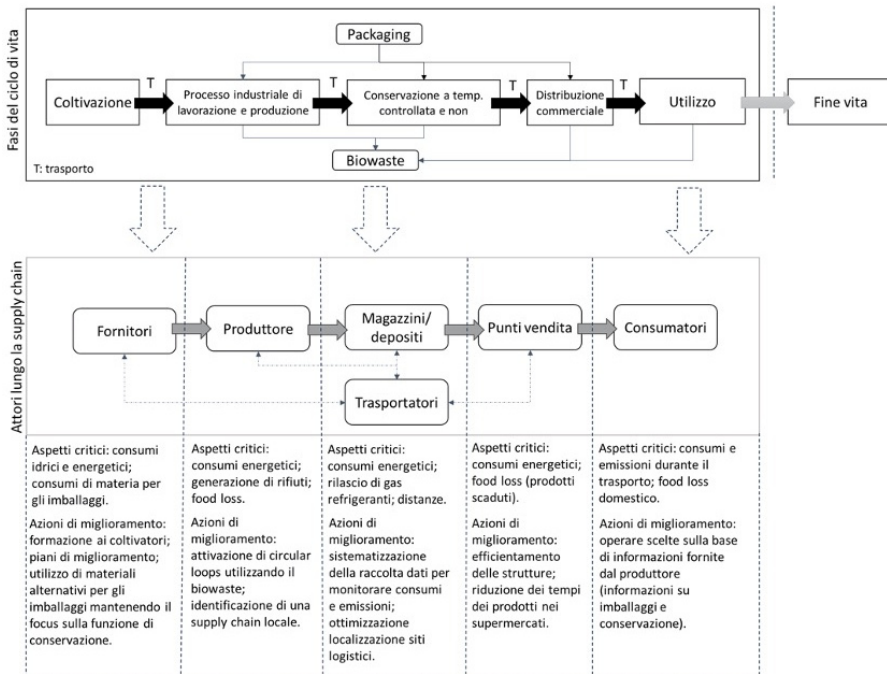


Figura 4 – Aspetti critici e azioni di miglioramento lungo la supply chain dei prodotti della catena del fresco

4 Conclusioni

La produzione, la gestione e la conservazione dei prodotti freschi richiedono elevate quantità di risorse; la loro stagionalità porta a complessità nel coordinare la raccolta e le fasi di lavorazione.

In questa ricerca sono stati analizzati 40 studi, includendo articoli scientifici e atti di convegno. Questi sono stati classificati sulla base delle loro caratteristiche, quali anno di pubblicazione, fonte, ambito geografico, affiliazione del primo autore e sulla base del contenuto. Inizialmente, è stato analizzato quali sono gli aspetti legati ai prodotti a taglio fresco studiati nella letteratura, ovvero coltivazione, lavorazione e produzione, trasporto e distribuzione, packaging, conservazione a temperatura controllata e non, generazione e gestione del biowaste, retailing e consumatori. Successivamente, sono state analizzate le soluzioni che potrebbero ridurre gli impatti, evidenziando anche le sfide ambientali e la prospettiva di ciclo di vita utilizzata. Le soluzioni emerse dalla letteratura riguardano il miglioramento del packaging attraverso l'utilizzo di materiali attivi/antibatterici e a ridotto impatto; l'utilizzo di mezzi di trasporto a emissioni ridotte e l'ottimizzazione del network di distribuzione; l'efficientamento energetico dei centri di distribuzione e di vendita al dettaglio; una migliore conoscenza dei consumi associati alla fase di conservazione; l'introduzione di loop circolari in fase di produzione/lavorazione; e l'ottimizzazione dei consumi di acqua e energia durante la coltivazione.

Per ottimizzare il controllo e la logistica della catena del freddo post-raccolta, occorre quindi agire sia sul mantenimento della qualità dei prodotti, attraverso ad esempio confezioni e packaging innovativi, sia sulla riduzione degli impatti ambientali, mediante gestione della logistica, attraverso la scelta di supply chain corte, hub di raccolta e smistamento e ottimizzazione dei tempi. Anche la possibilità per alcuni prodotti di estendere la durata di conservazione, può comportare un vantaggio dal punto di vista ambientale, poiché scadenze più lunghe sarebbero associate ad una diminuzione degli sprechi alimentari dovuti alla perdita delle caratteristiche organolettiche.

Nonostante sia stata condotta una analisi sistematica della letteratura lo studio presenta alcuni limiti. La ricerca si focalizza sugli studi che hanno condotto analisi di ciclo di vita sulla supply chain dei prodotti della catena del fresco, in linea con le domande di ricerca. Tuttavia, potrebbero essere stati esclusi gli articoli che, seppur non utilizzando il termine supply chain nel testo, analizzano gli impatti ambientali di prodotti a taglio fresco. Risultano numerosi infatti gli studi di LCA o Carbon Footprint nel settore del food che analizzano prodotti di IV gamma, senza un esplicito riferimento alla supply chain. Inoltre, i maggiori contributi all'impatto ambien-

tale risultano valutazioni relative influenzate dall'ampiezza dei confini del sistema degli studi.

Questa analisi della letteratura evidenzia i diversi aspetti associati alla supply chain dei prodotti a taglio fresco ma alcuni elementi andrebbero ulteriormente analizzati. Le soluzioni innovative sono esplorate solo in riferimento ai materiali per gli imballaggi e nonostante il ruolo centrale del consumatore, non emergono delle soluzioni per migliorare gli aspetti legati al food loss in ambito domestico. In futuro la ricerca potrebbe essere ampliata con analisi della letteratura specifiche per ognuno degli aspetti meno esplorati, come la generazione e l'utilizzo del biowaste e la gestione dello spreco alimentare lungo la supply chain.

Bibliografia

- ACCORSI, R., CASCINI, A., CHOLETTE, S., MANZINI, R., MORA, C. (2014). Economic and environmental assessment of reusable plastic containers: A food catering supply chain case study. *International Journal of Production Economics*, 152, 88-101.
- ALZUBI, E., NOCHE, B. (2022). A Multi-Objective Model to Find the Sustainable Location for Citrus Hub. *Sustainability*, 14, 14463.
- ANDERSON, A.S., PORTEOUS, L.E.G., FOSTER, E., HIGGINS, C., STEAD, M., HETHERINGTON, M., HA, M.A., ADAMSON, A.J. (2005). The impact of a school-based nutrition education intervention on dietary intake and cognitive and attitudinal variables relating to fruits and vegetables. *Public health nutrition*, 8(6), 650-656. <https://doi.org/10.3390/su142114463>
- ARSHAD, F., SUBRAMANIAM, V., NAMBIAPPAN, B., ISMAIL, A., YUSOFF, S. (2019). Energy consumption during transportation along the palm oil supply chain in Malaysia. *Journal of Oil Palm Research*, 31(4), 641-650.
- BASELICE, A., COLANTUONI, F., LASS, D.A., NARDONE, G., STASI, A. (2017). Trends in EU consumers' attitude towards fresh-cut fruit and vegetables. *Food Quality and Preference*, 59, 87-96.
- BATTINI, D., CALZAVARA, M., PERSONA, A., SGARBOSSA, F. (2016). Sustainable Packaging Development for Fresh Food Supply Chains: Innovative Sustainable Packaging Solutions. *Packaging Technology and Science*, 29, 25-43.
- BERNO, N.D., TEZOTTO-ULIANA, J.V., DOS SANTOS DIAS, C.T., KLUGE, R.A. (2014). Storage temperature and type of cut affect the biochemical and physiological characteristics of fresh-cut purple onions. *Postharvest Biology and Technology*, 93, 91-96. <https://doi.org/10.1002/pts.2185>
- BOENZI, F., DIGIESI, S., FACCHINI, F., SILVESTRI, B. (2022). Life Cycle Assessment in the Agri-Food Supply Chain: Fresh Versus Semi-Finished Based Production Process. *Sustainability*, 14, 13010.
- BORTOLINI, M., FACCIO, M., FERRARI, E., GAMBERI, M., PILATI, F. (2016). Fresh food sustainable distribution: cost, delivery time and carbon footprint three-objective optimization. *Journal of Food Engineering*, 174, 56-67.
- BORTOLINI, M., GALIZIA, F.G., MORA, C., BOTTI, L., ROSANO, M. (2018). Bi-objective design of fresh food supply chain networks with reusable and disposable packaging containers. *Journal of Cleaner Production*, 184, 375-388.
- BUREK, J., NUTTER, D.W. (2020). Environmental implications of perishables storage and retailing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110070.

- CAMILO, R., BONFIM-ROCHA, L., MACOWSKI, D.H., MANO, T.B., ORGEDA, R., ALMEIDA, R.A., REZENDE, R.V.P., RAVAGNANI, M.A.S.S. (2020). Bi-objective optimization of a supply chain: identification of the key impact category and green management. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 37, 157-171.
- CARACCILO, F., AMANI, P., CAVALLO, C., CEMBALO, L., D'AMICO, M., DEL GIUDICE, T., FREDA, R., FRITZ, M., LOMBARDI, P., MENNELLA, L., PANICO, T., TOSCO, D., CICIA, G. (2018). The environmental benefits of changing logistics structures for fresh vegetables. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12, 233-240.
- CHOO, Y.M., MUHAMAD, H., HASHIM, Z., SUBRAMANIAM, V., PUAH, C.W., TAN, Y. (2011). Determination of GHG contributions by subsystems in the oil palm supply chain using the LCA approach. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16, 669-681.
- DELGADO, L., SCHUSTER, M., TORERO, M. (2023). Food Losses in Agri-food Systems: What We Know. *Annual Review of Resource Economics*, 15, 41-62.
- DIAZ, F., ROMAGNOLI, F., NEUSEL, L., HIRZEL, S., PAULUS, J., MARCHI, B., ZANONI, S. (2022). The ICCEE Toolbox. A Holistic Instrument Supporting Energy Efficiency of Cold Food and Beverage Supply Chains. *Environmental and Climate Technologies*, 26, 428-440.
- DONG, Y., MILLER, S.A. (2021). Assessing the lifecycle greenhouse gas (GHG) emissions of perishable food products delivered by the cold chain in China. *Journal of Cleaner Production*, 303, 126982.
- DU PLESSIS, M.J., VAN EEDEN, J., GOEDHALS-GERBER, L.L. (2022). The Carbon Footprint of Fruit Storage: A Case Study of the Energy and Emission Intensity of Cold Stores. *Sustainability*, 14, 7530.
- DURACH, C.F., KEMBRO, J., WIELAND, A., 2017. A new paradigm for systematic literature reviews in supply chain management. *Journal of Supply Chain Management*, 53, 67-85.
- FRANKOWSKA, A., JESWANI, H.K., AZAPAGIC, A. (2019). Life cycle environmental impacts of fruits consumption in the UK. *Journal of Environmental Management*, 248, 109111.
- GALIOTO, F., ZUCARO, R., PERGAMO, R. (2022). Le sfide del comparto ortofrutticolo della IV Gamma in Italia. *PianetaPSR.it*. <http://www.pianetapsr.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/2774>
- GHEZAVATI, V.R., HOOSHYAR, S., TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. (2017). A Benders' decomposition algorithm for optimizing distribution of perishable products considering postharvest biological behavior in agri-food supply chain: a case study of tomato. *Central European Journal of Operations Research*, 25, 29-54.

- GIANNAKOUROU, M.C., TSIRONI, T.N. (2021). Application of processing and packaging hurdles for fresh-cut fruits and vegetables preservation. *Foods*, 10(4), 830.
- HU, Y., ZHENG, J., KONG, X., SUN, J., LI, Y. (2019). Carbon footprint and economic efficiency of urban agriculture in Beijing, a comparative case study of conventional and home-delivery agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 234, 615-625.
- IRIARTE, A., YÁÑEZ, P., VILLALOBOS, P., HUENCHULEO, C., REBOLLEDO-LEIVA, R. (2021). Carbon footprint of southern hemisphere fruit exported to Europe: The case of Chilean apple to the UK. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126118.
- LI, X., OUYANG, Z., ZHANG, Q., SHANG, W., HUANG, L., WU, Y., GAO, Y. (2022). Evaluating food supply chain emissions from Japanese household consumption. *Applied Energy*, 306, 118080.
- LIU, H., PRETORIUS, L., JIANG, D. (2018). Optimization of cold chain logistics distribution network terminal. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1), 1-9.
- LOISEAU, E., COLIN, M., ALAPHILIPPE, A., COSTE, G., ROUX, P. (2020). To what extent are short food supply chains (SFSCs) environmentally friendly? Application to French apple distribution using Life Cycle Assessment. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124166.
- LÓPEZ-GÁLVEZ, F., GÓMEZ, P.A., ARTÉS, F., ARTÉS-HERNÁNDEZ, F., AGUAYO, E. (2021a). Interactions between Microbial Food Safety and Environmental Sustainability in the Fresh Produce Supply Chain. *Foods*, 10, 1655.
- LÓPEZ-GÁLVEZ, F., RASINES, L., CONESA, E., GÓMEZ, P.A., ARTÉS-HERNÁNDEZ, F., AGUAYO, E. (2021b). Reusable Plastic Crates (RPCs) for Fresh Produce (Case Study on Cauliflowers): Sustainable Packaging but Potential Salmonella Survival and Risk of Cross-Contamination. *Foods*, 10, 1254.
- MA, L., ZHANG, M., BHANDARI, B., GAO, Z. (2017). Recent developments in novel shelf-life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 23-38.
- MAJEWSKI, E., KOMERSKA, A., KWIATKOWSKI, J., MALAK-RAWLIKOWSKA, A., WAŚ, A., SULEWSKI, P., GOŁAS, M., POGODZIN'SKA, K., LECOEUR, J.L., TOCCO, B., TÖRÖK, A., DONATI, M., VITTERSØ, G. (2020). Are short food supply chains more environmentally sustainable than long chains? A life cycle assessment (LCA) of the eco-efficiency of food chains in selected EU countries. *Energies*, 13(18), 4853.
- MILÀ I CANALS, L., CHAPAGAIN, A., ORR, S., CHENOWETH, J., ANTON, A., CLIFT, R. (2010). Assessing freshwater use impacts in LCA, part 2: case study of broccoli production in the UK and Spain. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15, 598-607.

- MISTRIOTIS, A., BRIASSOULIS, D., GIANNOULIS, A., D'AQUINO, S. (2016). Design of biodegradable bio-based equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for fresh fruits and vegetables by using micro-perforated poly-lactic acid (PLA) films. *Postharvest Biology and technology*, 111, 380-389.
- MUNASINGHE, M., JAYASINGHE, P., DERANIYAGALA, Y., MATLABA, V.J., SANTOS, J.F.D., MANESCHY, M.C., MOTA, J.A. (2019). Value-Supply Chain Analysis (VSCA) of crude palm oil production in Brazil, focusing on economic, environmental and social sustainability. *Sustainable Production and Consumption*, 17, 161-175.
- PARAJULI, R., GUSTAFSON, D., ASSENG, S., STÖCKLE, C.O., KRUSE, J., ZHAO, C., INTRAPAPONG, P., MATLOCK, M.D., THOMA, G. (2021). Protocol for life cycle assessment modeling of US fruit and vegetable supply chains- cases of processed potato and tomato products. *Data in Brief*, 34, 106639.
- PARMIGIANI (2021). Report n.2/ 2021- Speciale acquisti ortaggi IV gamma.ISMEA-Mercati.it. <https://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/ID-Pagina/11412>
- PARROT, L., BIARD, Y., KLAVER, D., KABRÉ, E., VANNIÈRE, H. (2022). Slicing the fruit five ways: An economic, social, and environmental assessment of five mango food supply chains in Burkina Faso. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 1032-1043.
- PAYEN, S., BASSET-MENS, C., PERRET, S. (2015). LCA of local and imported tomato: an energy and water trade-off. *Journal of Cleaner Production*, 87, 139-148.
- PEANO, C., GIRGENTI, V., BAUDINO, C., GIUGGIOLI, N. (2017). Blueberry Supply Chain in Italy: Management, Innovation and Sustainability. *Sustainability*, 9, 261.
- PEDRESCHI, R., PONCE, E., HERNÁNDEZ, I., FUENTEALBA, C., URBINA, A., GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, J.J., HORMAZA, J.I., CAMPOS, D., CHIRINOS, R., AGUAYO, E. (2022). Short vs. Long-Distance Avocado Supply Chains: Life Cycle Assessment Impact Associated to Transport and Effect of Fruit Origin and Supply Conditions Chain on Primary and Secondary Metabolites. *Foods*, 11, 1807.
- PÉREZ NEIRA, D., SOLER MONTIEL, M., DELGADO CABEZA, M., REIGADA, A. (2018). Energy use and carbon footprint of the tomato production in heated multi-tunnel greenhouses in Almeria within an exporting agri-food system context. *Science of The Total Environment*, 628-629, 1627-1636.

- PÉREZ-NEIRA, D., GROLLMUS-VENEGAS, A. (2018). Life-cycle energy assessment and carbon footprint of peri-urban horticulture. A comparative case study of local food systems in Spain. *Landscape and Urban Planning*, 172, 60-68.
- RAFFO, A., PAOLETTI, F. (2022). Fresh-cut vegetables processing: environmental sustainability and food safety issues in a comprehensive perspective. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 681459.
- RUFÍ-SALÍS, M., PETIT-BOIX, A., VILLALBA, G., ERCILLA-MONTSERRAT, M., SANJUAN-DELMÁS, D., PARADA, F., ARCAS, V., MUÑOZ-LIESA, J., GABARRELL, X. (2020). Identifying eco-efficient year-round crop combinations for rooftop greenhouse agriculture. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 564-576.
- SANDERSON, V., BAMBER, N., PELLETIER, D.N. (2019). Cradle-to-market life cycle assessment of Okanagan (Canada) cherries: Helicopters, seasonal migrant labour and flying fruit. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1283-1293.
- SANDHU, P.P. (2019). Status and recent trends in fresh-cut fruits and vegetables. *Fresh-cut fruits and vegetables: Technologies and mechanisms for safety control*, 17, 17-49.
- SAVINO, M., MANZINI, R., MAZZA, A. (2013). Environmental and economic assessment of fresh fruit supply chain through value chain analysis. A case study in chestnuts industry. *Production Planning & Control*, 26, 1-18.
- SIM, S., BARRY, M., CLIFT, R., COWELL, S.J. (2007). The relative importance of transport in determining an appropriate sustainability strategy for food sourcing: A case study of fresh produce supply chains. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12, 422-431.
- SINGLA, G., CHATURVEDI, K., SANDHU, P.P. (2020). Status and recent trends in fresh-cut fruits and vegetables. In Siddiqui, M.W. (eds.), *Fresh-cut fruits and vegetables*. Academic Press, 17-49.
- SNYDER, H., 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research* 104, 333-339.
- STONE, T.F., THOMPSON, J.R., ROSENTRATER, K.A., NAIR, A. (2021). A Life Cycle Assessment Approach for Vegetables in Large-, Mid-, and Small-Scale Food Systems in the Midwest US. *Sustainability*, 13, 11368.
- SUBRAMANIAM, V., HASHIM, Z., LOH, S.K., ASTIMAR, A.A. (2020). Assessing water footprint for the oil palm supply chain- a cradle to gate study. *Agricultural Water Management*, 237, 106184.
- VIGIL, M., PEDROSA-LAZA, M., ALVAREZ CABAL, J., ORTEGA-FERNÁNDEZ, F. (2020). Sustainability Analysis of Active Packaging for the Fresh Cut Vegetable Industry by Means of Attributional & Consequential Life Cycle Assessment. *Sustainability*, 12, 7207.

- WANG, J., PHAM, T.L., DANG, V.T. (2020). Environmental consciousness and organic food purchase intention: a moderated mediation model of perceived food quality and price sensitivity. *International journal of environmental research and public health*, 17(3), 850.
- WANG, J., ZHANG, X., WANG, X., HUANG, H., HU, J., LIN, W. (2022). A Data-Driven Packaging Efficiency Optimization Method for a Low Carbon System in Agri-Products Cold Chain. *Sustainability*, 14, 858.
- WU, W., BERETTA, C., CRONJE, P., HELLWEG, S., DEFRAEYE, T. (2019). Environmental trade-offs in fresh-fruit cold chains by combining virtual cold chains with life cycle assessment. *Applied Energy*, 254, 113586.
- XUE, L., CAO, Z., SCHERHAUFER, S., ÖSTERGREN, K., CHENG, S., LIU, G. (2021). Mapping the EU tomato supply chain from farm to fork for greenhouse gas emission mitigation strategies. *Journal of Industrial Ecology*, 25, 377-389.
- ZHAO, S., HAN, X., LIU, B., WANG, S., GUAN, W., WU, Z., THEODORAKIS, P.E. (2022). Shelf-life prediction model of fresh-cut potato at different storage temperatures. *Journal of Food Engineering*, 317, 110867.

Le strategie di economia circolare applicate al settore dell'acquacoltura: analisi dello stato dell'arte

Maria Cozzolino

Università degli Studi di Messina

Roberta Salomone

Università degli Studi di Messina

Giovanni Mondello

Università degli Studi di Messina

Teresa Gulotta

Università degli Studi di Messina

ABSTRACT

Il settore dell'acquacoltura esercita una pressione sulle risorse terrestri, acquatiche e sugli ecosistemi, minacciando la biodiversità e il cambiamento climatico. In tale ambito, la Commissione Europea, con la comunicazione COM/2021/236, ha proposto alcune strategie che potrebbero rendere l'acquacoltura più sostenibile e competitiva, includendo anche quelle volte all'economia circolare (EC). Lo scopo di questo studio è di proporre un'analisi bibliometrica e sistematica della letteratura scientifica relativa alle pratiche di EC applicate nell'ambito dell'acquacoltura, al fine di identificare i principali drivers che orientano la transizione circolare del settore. In particolare, lo studio ha permesso di valutare: a) l'interesse del mondo accademico verso l'EC in acquacoltura; b) le principali pratiche circolari applicate nel settore (es., riduzione delle risorse; trattamento dei rifiuti; etc.); c) i principali principi dell'EC applicati secondo il paradigma delle 4R; d) i principali strumenti di valutazione usati per misurare i potenziali benefici ambientali dell'EC nel settore. Applicando il protocollo PRISMA, sono stati identificati 99 articoli pubblicati tra il 2015-2022. I principali risultati hanno evidenziato un crescente interesse da parte della comunità scientifica sulle tematiche di EC applicate ai sistemi produttivi nell'ambito dell'acquacoltura, con particolare riferimento alla riduzione dell'uso di risorse naturali. Inoltre, i concetti di riciclo e riuso sono tra i principali principi considerati tra quelli previsti nel paradigma delle 4R. Dall'analisi si evince anche che il metodo *Life Cycle Assessment* appare come uno dei principali strumenti potenzialmente applicabili per misurare le performance ambientali generate dall'EC in acquacoltura.

PAROLE CHIAVE: analisi della letteratura, acquacoltura, Economia Circolare, 4R, strumenti di valutazione, strategie.

1 Introduzione

L'acquacoltura è l'insieme delle attività umane, distinte dalla pesca, praticate per la produzione controllata di organismi acquatici (FAO 1998). Nello specifico, il presente studio considera le attività acquicole di tipo intensivo, dove l'intervento umano accompagna tutte le fasi del processo. L'acquacoltura intensiva, inoltre, è praticata in ambiente artificiale, quali gabbie in mare, vasche in terraferma, o installazioni fisse o flottanti, maggiormente utilizzate per l'allevamento di molluschi. L'acquacoltura ha contribuito a bilanciare la contrazione dell'offerta ittica proveniente dalla pesca e destinata al consumo umano (FAO 2010). Infatti, nel 2020, dei 178 milioni di tonnellate di prodotti acquicoli, il 49% (88 milioni di tonnellate) proviene dall'acquacoltura (FAO 2022b). Inoltre, la crescita di quest'ultima è destinata ad aumentare nei prossimi anni ad un tasso medio del 2.1%, e, nel 2031, raggiungerà un volume stimato pari al 52% del totale della produzione ittica mondiale (OECD/FAO 2022). Però, sebbene l'acquacoltura contribuisca al miglioramento della sicurezza alimentare e della nutrizione (Colombo et al. 2022; Oosting et al. 2022), la sua crescita provocherà un aumento di densità della biomassa nelle installazioni (Bohnes et al. 2019) e ciò genera preoccupazioni, dovute all'aumento dei connessi impatti sull'ambiente (Borrello, Pascucci, and Cembalo 2020) e all'aumento dei consumi di farine e olio di pesce, ottenute da stock ittici limitati, alcuni dei quali sono già classificati come completamente sfruttati, sovrasfruttati o esauriti (Naylor et al. 2002). In aggiunta, l'acquacoltura deve affrontare le sfide poste dalle aspettative dei consumatori, che richiedono prodotti più sostenibili e responsabili (Baldi et al. 2022; Freitas, Vaz-Pires, and Câmara 2020). Per questo, l'acquacoltura dovrebbe riconfigurare i suoi modelli di approvvigionamento e produzione, per utilizzare al massimo le risorse disponibili, con il minimo impatto sull'ecosistema (Alonso, Álvarez-Salgado, and Antelo 2021; C. Lopes et al. 2015). A fronte di siffatte sfide, vige un quadro normativo debole e frammentario, non sempre pianificato (Ahmad, W. Hassan, and Banat 2022; Smith et al. 2010), che rappresenta una barriera per avviare processi basati su un approccio olistico, per un'acquacoltura più eco-friendly. Considerando tutto ciò, l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'alimentazione e l'agricoltura (FAO) ha avviato un dialogo internazionale per considerare il ruolo dell'acquacoltura nella Blue Economy e di come tale attività possa continuare a svilupparsi, attraverso processi di produzione più sostenibili e inclusivi (FAO 2010). In questo contesto, l'economia circolare (EC), che è una strategia promettente tesa a ridurre i rifiuti e l'inquinamento, a mantenere prodotti e materiali in uso per lungo tempo e a rigenerare i sistemi naturali, potrebbe costituire un'opportunità per

l'acquacoltura nell'aumentare la sua sostenibilità ambientale (Kundu et al. 2022). Infatti, la EC è stata considerata come una strategia che il settore acquicolo dovrebbe adottare per: a) ridurre i propri impatti ambientali, attraverso un minore utilizzo delle risorse naturali, (Rogueiro et al. 2022); b) riutilizzare le acque di processo, ad esempio favorendo la produzione di alghe, (Pereira et al. 2022), o migliorandone la qualità, attraverso l'impiego di mangimi a minore rilascio di nutrienti (Albrektsen et al. 2022); c) riciclare gli scarti ed i rifiuti, per ottenere nuovi prodotti o fonti di energia (Monteiro et al. 2018). Sebbene alcuni studi abbiano dimostrato i benefici della EC per l'acquacoltura, favorendo al contempo la conservazione delle risorse marine e la creazione di valore aggiunto (Casado-Coy et al. 2022; Coppola et al. 2021a; Sanz-Lazaro and Sanchez-Jerez 2020), il settore acquicolo non è stato coinvolto subito nelle azioni strategiche europee adottate per la diffusione dell'EC, tant'è che l'acquacoltura non è stata inclusa tra le attività considerate nel primo Piano d'azione per l'economia circolare (European Commission 2015). Un'apertura verso le strategie di EC è stata invece favorita dall'adozione del Green Deal (European Commission 2019), che ha definito l'acquacoltura un'attività che effettivamente può contribuire al raggiungimento della neutralità climatica e della sostenibilità ambientale. In aggiunta, con la strategia specifica per l'acquacoltura (European Commission 2021a), l'EC è stata esplicitamente considerata tra le opportunità strategiche per rendere il comparto acquicolo europeo più competitivo e resiliente. Basandosi sulle evidenze che possono minacciare lo sviluppo dell'acquacoltura, e considerando che in letteratura mancano studi che esplorino il potenziale della EC per affrontare le sfide ambientali dell'acquacoltura in modo più olistico e innovativo, il presente studio presenta una revisione della letteratura sull'EC in acquacoltura, col fine di poter rispondere alle seguenti domande di ricerca: (DR1) Quali sono gli interessi degli studiosi sul concetto di EC in acquacoltura? (DR2) Quali sono le principali sfide e opportunità per l'applicazione pratica dei principi dell'EC in acquacoltura? I dati raccolti sono stati utilizzati per analizzare le relazioni tra le pratiche di EC e la possibilità di incentivare gli imprenditori acquicoli a ridurre, riutilizzare, riciclare e recuperare le risorse. Inoltre, sono stati identificati gli strumenti usati per misurare gli impatti ambientali delle pratiche di EC in acquacoltura.

2 Metodologia

Nella presente sezione sono descritti i metodi adottati per realizzare un'analisi della letteratura in relazione alle domande di ricerca. Pertanto, sono stati utilizzati due metodi di analisi della letteratura che si integrano

reciprocamente, ovvero l'analisi bibliometrica e l'analisi sistematica. L'analisi bibliometrica è un metodo quantitativo per misurare la produzione scientifica e l'influenza di un campo di ricerca (Donthu et al. 2021). Ciò ha consentito di rispondere alla DR1, attraverso l'applicazione: a) della tecnica dell'analisi delle performance; b) della co-occorrenza; c) dell'analisi di rete (network analysis) per quantificare e rappresentare i modelli e le relazioni tra le pubblicazioni scientifiche, nonché rilevare le tendenze ed i collegamenti tra le parole chiave relative a temi specifici. La revisione sistematica della letteratura è un metodo di analisi che, invece, consente di individuare, valutare e sintetizzare i risultati della ricerca, in modo da poter cogliere le somiglianze e le sfumature della letteratura attuale, a sostegno di una pratica basata sulle evidenze (MacDonald 2014; MacFarlane, Russell-Rose, and Shokraneh 2022). Per la definizione del campione di articoli da revisionare è stato utilizzato il protocollo "*Preferred reporting items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*" (PRISMA), che assicura la trasparenza, la consistenza e la robustezza del processo di revisione della letteratura (Page et al. 2021). Di seguito, in tre sottosezioni, si illustrano: i) le strategie di ricerca, ii) il processo di selezione del campione di articoli sottoposti a revisione della letteratura e iii) i dati raccolti con i relativi metodi di analisi usati sia per l'analisi bibliometrica che sistematica.

2.1 Strategia di ricerca

Per la selezione degli articoli, sono state ricercate le parole "*circular economy*" e "*aquaculture*" nei titoli, negli abstract e nelle parole chiave degli articoli presenti nei database Scopus e Web of Science (WoS), aggiornando l'elenco degli articoli a gennaio 2023. Ciò ha consentito di considerare gli articoli che rispondessero alle query di ricerca (Fig.1).

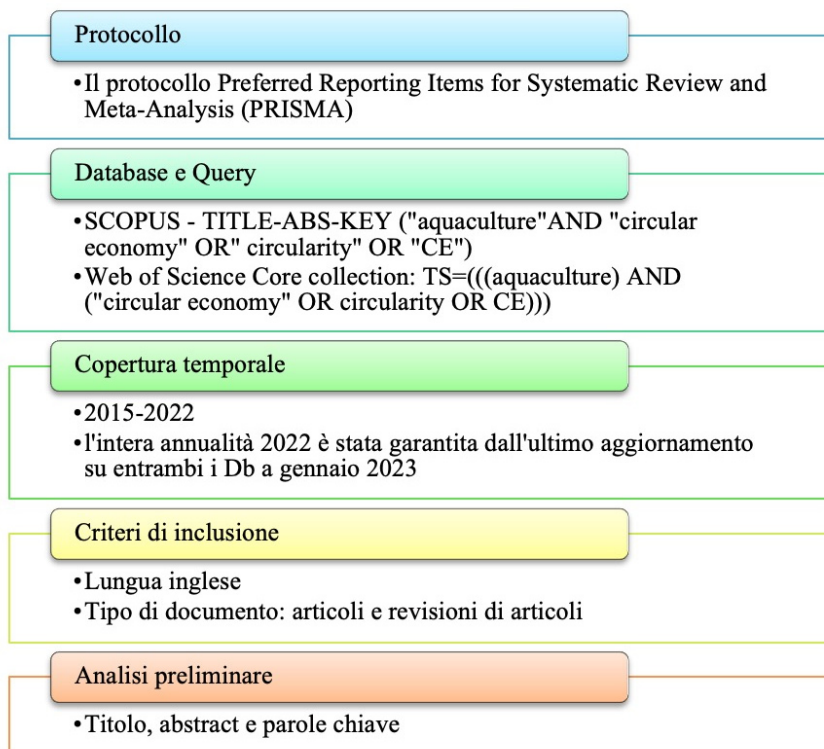


Figura 1 – Strategia di ricerca per l'analisi della letteratura

La revisione della letteratura ha incluso solo gli articoli e le revisioni peer-reviewed (di seguito articoli), pubblicati in lingua inglese tra il 2015-2022. La scelta dell'anno di inizio è ancorata all'adozione del primo Piano d'azione per l'economia circolare. Il campione estratto dai due DB è stato di 389 articoli, di cui sono stati scaricati tutti i dati bibliometrici in MS Excel. Dopo l'eliminazione dei duplicati, il campione è sceso a 242 articoli.

2.2 Processo di selezione del campione di articoli per la revisione della letteratura

La fase di screening degli articoli è avvenuta attraverso step sequenziali (Fig. 2). Il primo screening si è basato sulla lettura del titolo, degli abstracts e delle parole chiave fornite dagli autori. In tale fase, sono stati inclusi gli articoli funzionali agli obiettivi del presente studio, e coerenti con le domande di ricerca, con la conseguente esclusione di 68 articoli.

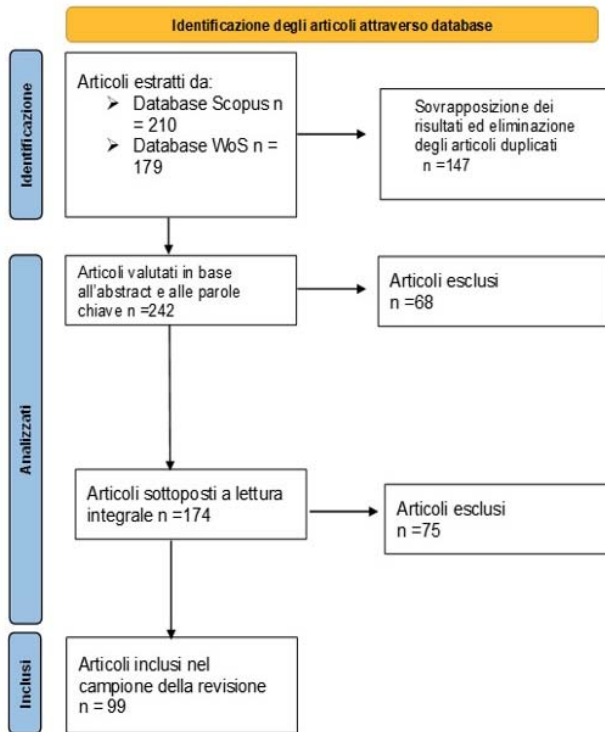


Figura 2 – Flusso della procedura di screening per la definizione del campione di articoli, secondo il protocollo PRISMA

Il residuo campione di 174 articoli, è stato, poi, oggetto di lettura integrale, considerando i seguenti criteri di inclusione: a) presenza negli articoli di una pratica di EC correlata, almeno, ad una fase del processo produttivo dell'acquacoltura; b) descrizione o proposta di pratiche di EC riferite a settori produttivi diversi dall'acquacoltura (allevamento di animali terrestri, agricoltura, industria della birra, settore nutraceutico e farmaceutico, ecc.), atte a fornire materie prime per l'acquacoltura. A conclusione di tale screening, sono stati esclusi altri 75, principalmente perché: a) basati su un approccio molto tecnico di tipo medico-veterinario; b) mancanti di evidenze rispetto alle pratiche di EC proposte in una o più fasi del processo acquicolo; c) limitati all'analisi delle caratteristiche biologiche e chimiche dei rifiuti. Il campione finale è stato di 99 articoli. Questi hanno popolato un datatabase in MS Excel, in cui sono state registrate le informazioni rilevanti per ciascun articolo.

2.3 Raccolta e analisi dei dati

Per rispondere alle due domande di ricerca sono stati raccolti e analizzati due differenti gruppi di dati.

Per l'analisi bibliometrica i dati raccolti hanno considerato: i) le riviste che hanno pubblicato gli articoli del campione, ii) il numero di articoli per anno, iii) la frequenza delle parole chiave. L'analisi dei dati è stata realizzata con l'ausilio di:

1. SciVAL per identificare: a) la tendenza temporale degli articoli; b) la loro distribuzione tra le riviste; c) l'area tematiche di ricerca delle riviste;
2. VOSviewer, per a) l'analisi delle co-occurrence, che consente di analizzare la frequenza e la compresenza delle parole in un insieme di articoli; e b) la network analysis (NA) delle parole chiave, che esamina le relazioni tra le parole chiave e l'intensità di tali relazioni.

Per l'analisi sistematica, i dati sono stati raccolti attraverso la lettura integrale dei 99 articoli e hanno considerato: i) l'oggetto di analisi (mangimi, acque reflue, rifiuti, sottoprodotti, alimenti, componenti biochimici, energia), ii) l'ambiente acquatico di allevamento (marino, d'acqua dolce, entrambi), iii) la strategia collegata alla gerarchia dei rifiuti (4R), iv) lo strumento di valutazione dei risultati registrati a seguito dell'adozione dalle pratiche di EC. L'analisi sistematica dei dati raccolti, pertanto, ha consentito di identificare: a) l'area principale di indagine; b) le pratiche di EC per il tipo di acqua di allevamento; c) il tipo di prodotto a cui la pratica dell'EC si rivolge (sottoprodotti, mangimi, trattamento delle acque reflue, rifiuti, nuovi materiali per la nutraceutica, ecc.); d) la presenza di strategie improntate sulla gerarchia europea dei rifiuti e di pratiche di EC basate sul paradigma delle 4R; e) la presenza di strumenti di monitoraggio delle performance dei processi di EC.

3 Discussione dei risultati

3.1 Analisi bibliometrica

L'EC in acquacoltura è un tema emergente e rilevante per lo sviluppo sostenibile del settore (Fig.3), infatti, sebbene sia considerato l'arco temporale 2015-2022, il numero di articoli è cresciuto a partire dal 2018, col massimo incremento tra il 2021-2022, dove si concentra l'80% degli articoli inclusi nel campione finale. Questo aumento è, probabilmente, dovuto all'interesse della comunità accademica, a seguito delle iniziative internazionali per la Blue Growth (FAO 2018), che incoraggiano l'acquacoltura a innovare le proprie pratiche e a valorizzare le risorse

rinnovabili e i rifiuti. Anche l'Europa, a partire dal Green Deal, e con l'adozione del nuovo Piano d'Azione per l'Economia Circolare (European Commission 2020b), della strategia Farm to Fork (European Commission 2020a), del nuovo Green Deal (European Commission 2021b) e della strategia per un'acquacoltura competitiva e resiliente (European Commission 2021c), ha stimolato studi e ricerche per la transizione dell'acquacoltura verso un'EC e a basse emissioni di carbonio.

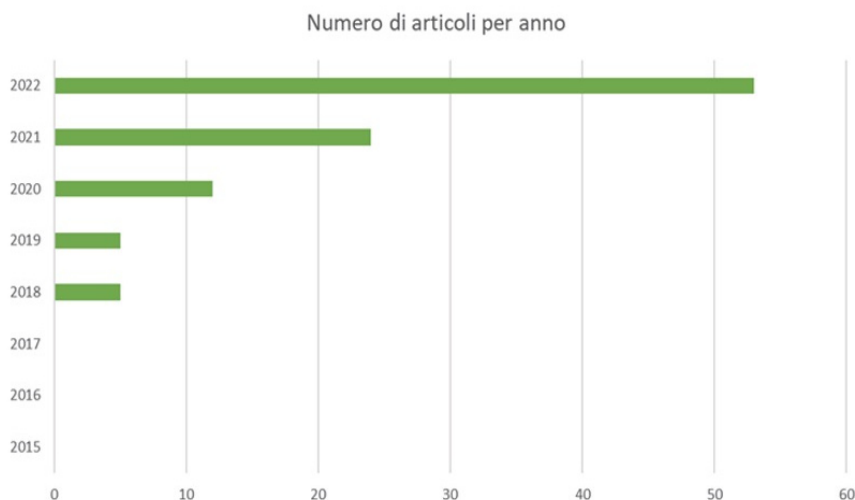


Figura 3 – Numero di articoli per anno di pubblicazione
(Fonte: elaborazione degli autori su dati estratti da Scopus e WoS)

Gli articoli sono stati pubblicati su 47 riviste (Fig.4), di cui 12 aggregano oltre il 60% del campione. Tra queste, quattro sono specifiche per l'acquacoltura, includendo il termine acquacoltura nel proprio titolo, e hanno pubblicato il 20% degli articoli inclusi nella presente revisione. In particolare, le riviste più prolifiche sono due: 1) "Aquaculture" (9% del campione), dove gli articoli trattano, principalmente, di mangimi innovativi a base di proteine vegetali (Fernandes et al. 2022; Marques et al. 2022), o di miglioramento della composizione del suolo mediante l'utilizzo dei nutrienti ottenuti dai rifiuti (I. G. Lopes et al. 2021a), ma anche di sistemi di produzione innovativi, come l'acquacoltura multitrofica integrata (IMTA) (K. Cutajar et al. 2022) e la valorizzazione dei rifiuti in ambito nutraceutico (Piazzon et al. 2022); e 2) "Reviews in Aquaculture" (7% del campione), che pubblica revisioni riguardanti le applicazioni dell'uso dei sottoprodotti e la valorizzazione dei rifiuti (Zhan, Lu, and Wang 2022), la

nutrizione (Colombo et al. 2022) e l'alimentazione animale (Morris, Backeljau, and Chapelle 2019). Questi temi riflettono i principali problemi che gli studiosi ritengono rilevanti e che possono essere affrontati attraverso i principi della EC applicati alle pratiche di acquacoltura.

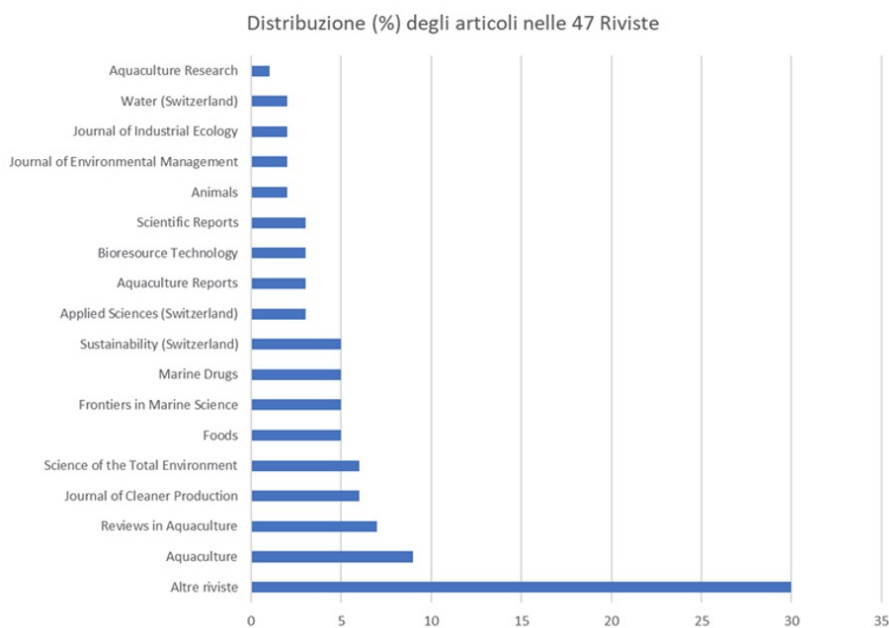


Figura 4 – Distribuzione (%) degli articoli per rivista
(Fonte: elaborazione degli autori sui dati estratti da Scopus e WoS)

Considerando, invece, l'analisi delle co-occorrenze tra parole (Fig.5), le principali parole sono economia circolare (occorrenza=179), acquacoltura (occorrenza=132) e, la terza, è sostenibilità (occorrenza=132). A tal proposito, è stato intercettato un terzo cluster, "sostenibilità", anche se questo termine non era stato incluso tra le parole chiave utilizzate per la ricerca degli articoli. Ciò rafforza il ruolo dell'acquacoltura, nel poter contribuire al raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030, in particolare per ridurre la pressione sugli stock ittici sovrasfruttati e per combattere la fame (FAO 2022a; UNITED NATIONS 2015), sperimentando nuove pratiche per la gestione dei rifiuti, degli scarti e delle acque di lavorazione, che possano, al contempo, assicurare una produzione sostenibile di cibo, e fornire altri materiali ad alto valore aggiunto, come proteine, acidi grassi e minerali, utilizzabili in diversi settori,

dall'agricoltura alle biotecnologie (Campanati et al. 2022a; Coppola et al. 2021b).

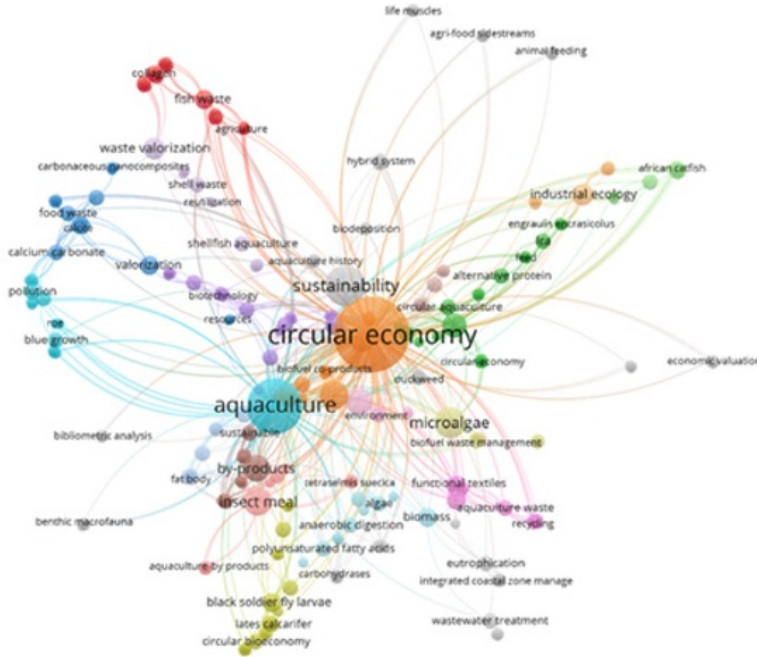


Figura 5 – Visualizzazione dell'accoppiamento bibliografico del campione di articoli
(Fonte: VOSviewer)

Tra le co-occorrenze di parole è emersa anche blue economy, concetto che indica l'uso sostenibile delle risorse biologiche acquatiche rinnovabili per produrre beni e servizi (Eroldoğan et al. 2022; EUMOFA 2018), sfruttando il potenziale del mare e degli oceani, per favorire lo sviluppo economico e sociale delle aree costiere (San Juan, Bogdanski, and Dubois 2019). Ciò fa emergere il ruolo strategico dell'acquacoltura nell'ambito della Blue Economy, come, peraltro, confermato dalla stessa Commissione Europea (European Commission 2012) e dal lavoro di alcuni autori (per esempio Kotta et al. 2020), che associano le pratiche circolari nei processi di allevamento ittico al miglioramento della qualità dell'acqua. Un'ulteriore co-occorrenza esiste tra il recupero e il riutilizzo dei rifiuti e dei sottoprodotti dell'allevamento (I. G. Lopes et al. 2021b; Magnabosco et al. 2021) e le possibili applicazioni dei sottoprodotti e delle acque reflue

per l'allevamento di insetti o coltivazione di alghe (Ahmad, W. Hassan, and Banat 2022), che si ricollegano agli articoli che esplorano le possibilità di integrare le diete dei pesci con mangimi composti da insetti e alghe, o che contengono proteine estratte dagli scarti di ricci di mare, o che impiegano proteine della soia (Albrektsen et al. 2022; Ciriminna et al. 2021). Un altro collegamento mostrato nella network analisi è il cluster dell'efficienza energetica (Ruiz-Salmón et al. 2020; Thomas et al. 2022) e dell'ecologia industriale, attraverso un parco eco-industriale a basse emissioni in cui si allevano le alghe (Tumilar et al. 2021), e con modelli circolari di acquacoltura integrata (Cornejo-Ponce et al. 2020).

3.2 Analisi sistematica

L'analisi sistematica della letteratura ha consentito un più approfondito esame su come il mondo accademico abbia declinato le opportunità derivanti dall'EC in acquacoltura (DR2).

3.2.1 *Le pratiche di EC applicate in diversi ecosistemi acquatici di allevamento*

La revisione della letteratura è stata eseguita riproponendo la classificazione europea degli ambienti acquatici di allevamento che distingue tra gli impianti che utilizzano acqua dolce e impianti che utilizzano acqua di mare (European Commission 2017). Così, l'analisi della letteratura ha consentito di identificare ottanta pratiche di EC riferite a tutti gli ambienti acquatici di allevamento. Di queste pratiche, la maggior parte (56%) ha riguardato l'ambiente marino (Fig. 6).

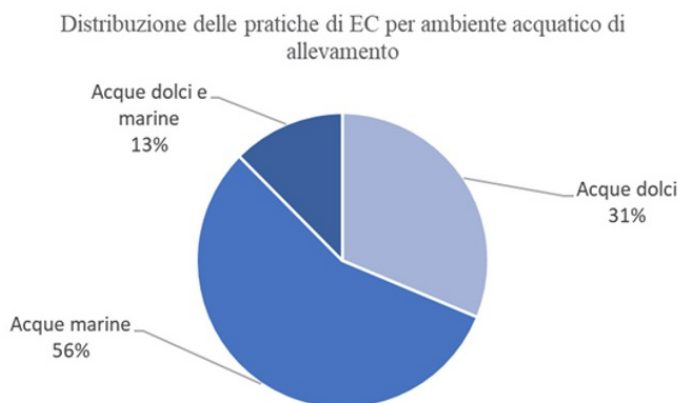


Figura 6 – Distribuzione delle pratiche di EC in base all'ecosistema acquatico

(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

Le pratiche risultano piuttosto eterogenee, mostrando la possibilità di declinare in diverse possibili pratiche di EC le soluzioni ai principali problemi del comparto acquicolo (Campanati et al. 2022a; Chary, Brigolin, and Callier 2022). Le pratiche circolari sono state classificate rispetto all'ambiente di allevamento e alla tipologia di prodotto o di processo di cui la pratica ha tenuto conto.

Così, nel caso dell'allevamento in acque dolci (Fig.7), le pratiche di EC hanno riguardato la produzione e uso di mangimi innovativi (50%), ad esempio, quelli prodotti dagli scarti di produzione agricola o animale (Hoerterer et al. 2022), o contenenti ingredienti ottenuti dal trattamento delle acque reflue (Tumilar et al. 2021), come le alghe (Pereira et al. 2022). La produzione algale ha riguardato il 27% delle pratiche, trattando la gestione circolare delle acque reflue anche attraverso tecnologie che favoriscono il riciclo di materiali di valore e consentono il recupero energetico (Bhattacharjya, Singh, and Tiwari 2021; Kundu et al. 2022; Owsianiak et al. 2022).

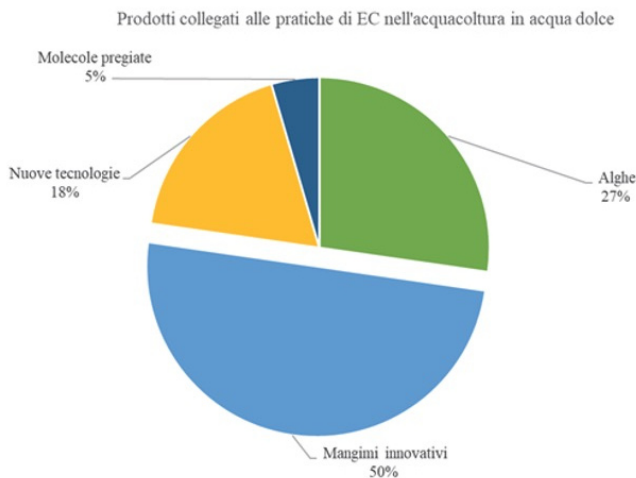


Figura 7 – Prodotti collegati all'adozione di pratiche di EC in acquacoltura praticata in acqua dolce

(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

A tal proposito, l'accesso alle tecnologie può supportare la diffusione di pratiche di EC (Azwar et al. 2022; Boffa et al. 2022), soprattutto per migliorare la gestione dei rifiuti, da cui estrarre le sostanze di valore, come proteine, chitina o collagene (Coppola et al. 2021b).

Anche per il comparto marino, le pratiche più diffuse hanno

riguardato i mangimi (45%) (Fig.8) e la valorizzazione degli scarti e dei rifiuti per estrarre molecole di valore (30%) destinate, oltre che all’agricoltura ed alla zootecnia, anche al consumo umano (N. Cutajar et al. 2022). Ulteriori pratiche di EC hanno, invece, considerato gli aspetti del benessere animale, considerando le attività per ridurre la diffusione di parassiti, fenomeno frequente negli allevamenti di salmoni, ricorrendo alla tecnologia dei sistemi a ricircolo (RAS) (Gudbrandsdottir et al. 2021). Anche per gli allevamenti marini, quindi, la tecnologia può essere un *driver* per la diffusione di strategie di EC (Boffa et al. 2022).

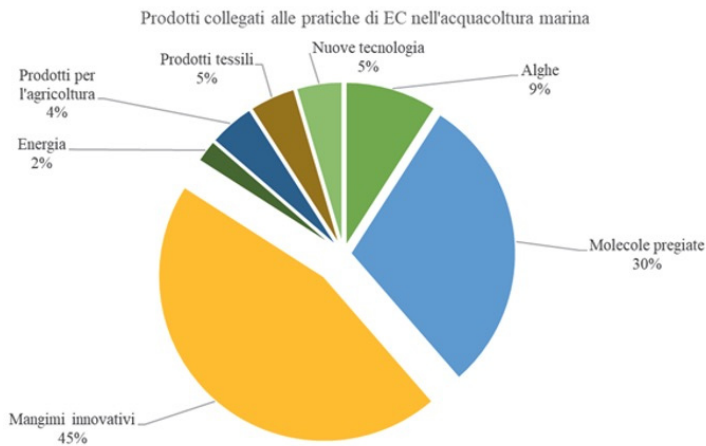


Figura 8 – Prodotti collegati all’adozione di pratiche di EC in acquacoltura marina
(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

Alcune pratiche di EC analizzate, possono essere implementate in tutti gli ambienti di allevamento, e si sono focalizzate principalmente sulla produzione e utilizzo di mangimi innovativi (Fernandes et al. 2022; Monteiro dos Santos et al. 2022; Zarantoniello et al. 2020) destinati all’accrescimento sia di pesci che di crostacei (Alloul et al. 2021; Fricke et al. 2022) (Fig.9). Ulteriori pratiche, poi, sono proposte per minimizzare l’impatto ambientale, evitando la dispersione di residui solidi e nutrienti nelle acque, che possano provocare fenomeni di eutrofizzazione e fioriture algali (Dauda et al. 2019). A tal fine, altre pratiche circolari, propongono mangimi composti da ingredienti proteici algali (Carvalho Pereira et al. 2022; Deng et al. 2021) o animali, presentando evidenze sulle performance di crescita di alcune specie (Plečić et al. 2022). Rientrano in questo cluster le pratiche per il riutilizzo e il riciclo delle acque di processo, sia per i sistemi di

allevamento a ciclo aperto (I. G. Lopes et al. 2021b; Mraz, Jia, and Roy 2022), che a ricircolo (Villar-Navarro, Garrido-Pérez, and Perales 2021). In base a tali pratiche, si propone il ridisegno dei modelli di gestione dei rifiuti, per valorizzare i rifiuti, prima del loro smaltimento finale (Ferreira, Rauter, and Bandarra 2022; Gatto and Re 2021; Mutalipassi et al. 2021).

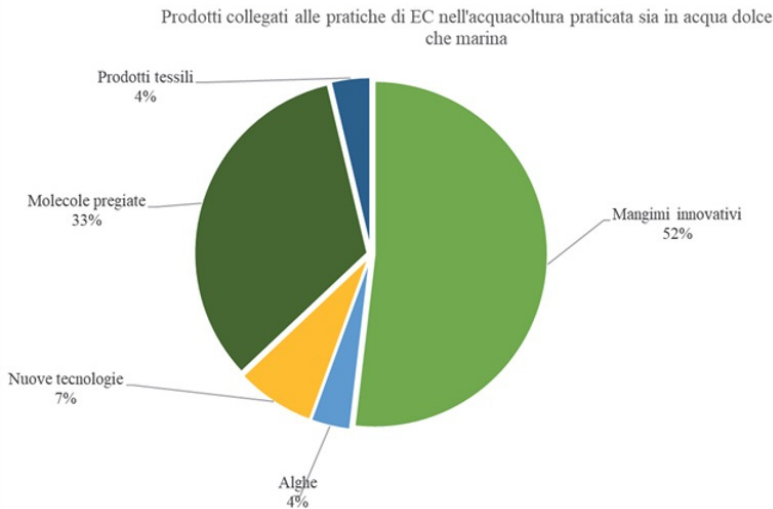


Figura 9 – Prodotti collegati all’adozione di pratiche di EC in acquacoltura sia in acqua dolce che marina
(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

3.2.2. Le 4R perseguite dalle pratiche di EC

Un altro problema ambientale che l’acquacoltura deve risolvere è la gestione dei suoi residui. Come riportato da una ricerca recente (Cooney et al. 2023), i sottoprodotti dell’acquacoltura vengono spesso smaltiti in discarica, causando problemi di emissioni di gas serra, inquinamento delle acque sotterranee e deterioramento del suolo (Dauda et al. 2019). Inoltre, questa pratica causa spreco di risorse, poiché i residui dell’acquacoltura sono ricchi di nutrienti e materia organica che potrebbero essere recuperati o riciclati (Iacovidou, Millward-Hopkins, et al. 2017; Iacovidou, Velis, et al. 2017). L’analisi della letteratura mostra che il 75% delle pratiche di EC del campione analizzato si focalizza su una sola delle 4R della gerarchia dei rifiuti, limitando così le opportunità dell’EC (Fig.10). Una delle principali strategie proposte in ambito accademico, riguarda pratiche per ridurre l’impiego di materie prime provenienti da stock ittici selvatici in sovrasfruttamento o esaurimento (per es., Naylor et al. 2002).

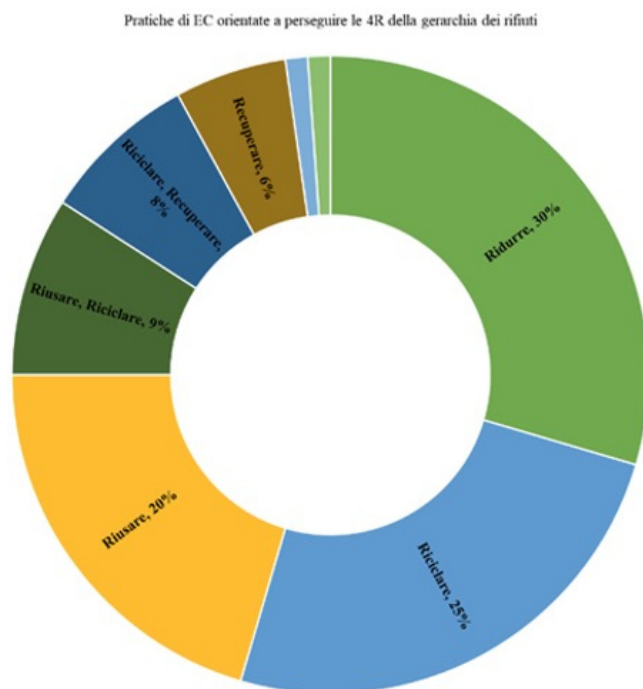


Figura 10 – Pratiche di EC orientate a perseguire le 4R del paradigma della gerarchia dei rifiuti

(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

Numerose sono le pratiche di EC volte al riuso e al riciclo delle acque reflue (Bhattacharjya, Singh, and Tiwari 2021), degli scarti e dei sottoprodotti di allevamento (Esteves et al. 2022; C. Lopes et al. 2015; Valcarcel et al. 2021) e dei rifiuti (Villar-Navarro, Garrido-Pérez, and Perales 2021; Zhan, Lu, and Wang 2022), per ridurre l'uso di materie prime naturali sovrasfruttate, sostituendole con ingredienti alternativi quali le alghe (Nguyen et al. 2022), le farine ottenute dalla trasformazione dei sottoprodotti (Piazzon et al. 2022), o contenenti insetti, ottenuti, anch'essi, da pratiche di EC, perché allevati su scarti di lavorazione (Petereit et al. 2022). Tra le pratiche di riciclo, prevalgono quelle per la produzione di materiali destinati ai settori farmaceutico, nutraceutico (Coppola et al. 2021a; Hou et al. 2022; Mutalipassi et al. 2021) e edile (Zhan, Lu, and Wang 2022). Ulteriori pratiche per il riutilizzo e riciclo, hanno tenuto conto dell'apporto tecnologico, che può favorire la diffusione dei principi di EC nei sistemi di acquacoltura a ricircolo (RAS) (Campanati et al. 2022b; Petereit et al. 2022) o nell'acquacoltura multitrofica integrata (IMTA) (Casado-Coy et al. 2022; K. Cutajar et al. 2022; Sanz-Lazaro and

Sanchez-Jerez 2020), entrambi sistemi a basso impatto ambientale (Alonso, Álvarez-Salgado, and Antelo 2021; Kotta et al. 2020). L'analisi evidenzia, però, la scarsa diffusione di pratiche che combinino più di una delle 4R della gerarchia dei rifiuti. Infatti, solo il 6% delle pratiche ha considerato simultaneamente riciclo e recupero, ad esempio, il recupero energetico da rifiuti di molluschi bivalvi (Azwar et al. 2022) o da alghe prodotte con acque di processo (Kundu et al. 2022; Valente et al. 2019). Alcune pratiche che, invece, hanno combinato il riuso e il riciclo, si sono occupate del trattamento dell'acqua di processo mediante filtrazione, finalizzata alla produzione di alghe e di nutrienti per l'acquacoltura (Chen et al. 2019; Deng et al. 2021; Jiménez Veuthey et al. 2022).

3.2.3 Le pratiche di EC e gli ambiti a cui si collegano

I principi dell'EC hanno influenzato le soluzioni adottate dall'acquacoltura per affrontare le diverse sfide che ostacolano una transizione sostenibile del settore. Tra le soluzioni circolari proposte dalla letteratura, molte riguardano il recupero e il riutilizzo dei rifiuti solidi e liquidi, che possono generare altri materiali e bioenergia. Tuttavia, le soluzioni più diffuse si concentrano sulle acque di scarico e i rifiuti (circa il 25%) e sugli scarti e sottoprodotti della lavorazione (circa il 60%). Questi ultimi offrono diverse possibilità di riciclo (Fig.11), trasformandosi in nuovi materiali che possono: a) rientrare nel ciclo dell'acquacoltura, come mangimi (36%); b) uscire dal settore acquicolo, entrando in altri settori, quali il farmaceutico e nutraceutico (34%), l'agricolo (14%), l'agroalimentare (11%) e l'energetico (5%).

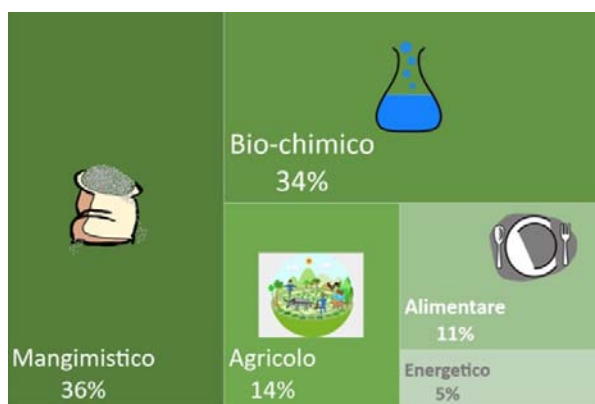


Figura 11 – Prodotti collegati all'adozione di pratiche di EC in acquacoltura marina

(Fonte: elaborazione realizzata dagli autori)

3.2.4 Strumenti per misurare gli effetti ambientali delle pratiche di EC in acquacoltura

Nonostante l'interesse crescente della comunità scientifica per i principi di EC, si riscontra una carenza di strumenti che possano supportare la valutazione dei benefici ambientali derivanti dall'applicazione di pratiche circolari in acquacoltura. Infatti, solo il 7% degli articoli del campione ha utilizzato uno strumento di misurazione, che, in tutti i casi, è risultato essere la *Life Cycle Assessment* (LCA) (ISO 2006), una metodologia riconosciuta a livello internazionale per stimare i potenziali impatti ambientali di un prodotto, di un processo o di un'attività lungo l'intera catena del valore. Alcuni ricercatori (Napolitano et al. 2022; Thomas et al. 2022) hanno fatto ricorso alla LCA per misurare come gli allevamenti a bassa trofia (alghe, ostriche, ascidie, cozze) abbiano favorito la riduzione dell'eutrofizzazione e delle fioriture algali, o come migliora la qualità delle acque di scarico, se si utilizzano mangimi a base di alghe (*Arthrospira platensis*). Inoltre, relazione alla scelta dei mangimi, la LCA è stata usata anche per confrontare pratiche di EC introdotte nella fase di accrescimento della biomassa, misurando le performance di sostenibilità tra i diversi mangimi tradizionali, vegetali o quelli contenenti proteine (Jagtap et al. 2021) ottenute dal riciclo (Iñarra et al. 2022; Owsianiak et al. 2022). L'applicazione della LCA ha, inoltre, consentito di misurare e confrontare le performance ambientali di processi di estrazione di sostanze di valore (come chitina, acidi grassi, collagene), o di produzione energetica, attraverso uso di tecnologie differenti (Cristiano et al. 2022). Sebbene la LCA sia uno strumento olistico, che ben si presta a supportare la misurazione delle ricadute ambientali nei processi di EC, si evidenzia la necessità di ampliare il ventaglio degli strumenti di misurazione e delle pratiche circolari in acquacoltura, per sfruttare appieno il potenziale dell'EC. A tal proposito, si potrebbe integrare la LCA con altri strumenti e metodi che considerino anche gli aspetti economici, sociali e di gestione delle risorse e dei rifiuti. Alcuni dei metodi che potrebbero essere sperimentati per misurare le performance delle pratiche circolari, sono la *Life Cycle Sustainability Assessment* (LCSA), che combina la LCA con il *Life Cycle Costing* (LCC) e il *Social Life Cycle Assessment* (S-LCA) per valutare tutti gli impatti della sostenibilità, la *Material Flow Cost Accounting* (MFCA), che misura il consumo di risorse e la produzione di rifiuti in termini monetari e ambientali (Walz and Guenther 2021), l'analisi costi-benefici (ABC), che confronta i costi e i benefici in una sola unità di misura, o il modello *input-output* (IOM), che analizza le relazioni tra gli input e gli output derivanti da un approccio circolare in acquacoltura (Laso et al. 2022).

4 Conclusioni

La revisione della letteratura ha mostrato che l'EC può rendere l'acquacoltura più sostenibile, riducendone gli impatti ambientali e creando nuove possibilità di sviluppo. Per questo motivo, l'interesse accademico è cresciuto a partire dal 2018. Un'analisi delle co-occorrenze delle parole chiave ha confermato che EC e acquacoltura sono le principali parole, seguite da sostenibilità. Siccome l'EC in acquacoltura è un tema che richiede una visione olistica e integrata delle diverse pratiche che la compongono, sono state classificate tutte le pratiche emerse dalla revisione della letteratura e clusterizzate in base al paradigma delle 4R della gerarchia dei rifiuti. Da ciò emerge che la maggior parte delle ottanta pratiche di EC perseguono la riduzione dell'uso di risorse, proponendo soluzioni circolari che riguardano sia l'impiego di nuove fonti proteiche, sia la produzione di nuove molecole ottenute da un più efficace sistema di gestione dei rifiuti, degli scarti e delle acque di produzione. Sebbene queste pratiche abbiano il potenziale per ridurre l'impatto ambientale dell'acquacoltura, possano migliorare la qualità dei prodotti e valorizzare i sottoprodotti e i rifiuti, oltre che favorire l'estrazione di molecole preziose, non sono supportate da strumenti per misurare i reali vantaggi derivanti dalla loro implementazione. Solo il 7% degli studi ha, infatti, fornito le misurazioni delle performance ambientali delle pratiche di EC proposte, usando il metodo LCA. Tuttavia, ci sono altri strumenti che potrebbero essere utilizzati per valutare le opportunità e i benefici anche economici e sociali dell'EC per l'acquacoltura, attraverso diversi metodi che integrano dati fisici e monetari. Ad esempio, la *Material Flow Cost Accounting*, oppure attraverso la ACB, o il modello IOM, ma anche il più olistico approccio della LCSA, che considera tutti gli impatti ambientali, sociali ed economici nei processi decisionali. Questi strumenti dovrebbero essere oggetto di maggior attenzione da parte della ricerca futura, in modo da fornire all'acquacoltura delle evidenze basate su indicatori comparabili. La presente analisi ha, inoltre, evidenziato che, rispetto alla gerarchia dei rifiuti, le pratiche di EC sono spesso focalizzate su una sola delle 4R, trascurando le possibili sinergie e complementarità tra le diverse strategie. Si è, poi, riscontrata una maggiore attenzione per l'acquacoltura marina rispetto a quella di acqua dolce, nonostante quest'ultima abbia un ruolo importante nella produzione ittica mondiale. Pertanto, si suggerisce che la ricerca futura si occupi di approfondire le pratiche di EC che considerino simultaneamente più di una delle 4R, analizzando le barriere e i fattori che ne influenzano l'adozione e la diffusione. Ugualmente, si propone di esplorare le opportunità e le sfide dell'EC in acquacoltura di acqua dolce, considerando le specificità e le differenze rispetto all'ambiente marino.

Ringraziamenti

Questo progetto è finanziato nell'ambito del fondo FSE REACT-EU, dottorato Innovazione e Verde ex DM1061, Ciclo XXXVI-2021.

References

- AHMAD, ASHFAQ, SHADI W. HASSAN, AND FAWZI BANAT. 2022. "An Overview of Microalgae Biomass as a Sustainable Aquaculture Feed Ingredient: Food Security and Circular Economy." *Bioengineered* 13(4): 9521-47. <https://doi.org/10.1080/21655979.2022.2061148>.
- ALBREKTSSEN, SISSEL ET AL. 2022. "Future Feed Resources in Sustainable Salmonid Production: A Review." *Reviews in Aquaculture* 14(4): 1790-1812.
- ALLOUL, ABBAS ET AL. 2021. "Purple Bacteria as Added-Value Protein Ingredient in Shrimp Feed: *Penaeus Vannamei* Growth Performance, and Tolerance against *Vibrio* and Ammonia Stress." *Aquaculture* 530(August 2020): 735788. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735788>.
- ALONSO, A.A., X.A. ÁLVAREZ-SALGADO, AND L.T. ANTELO. 2021. "Assessing the Impact of Bivalve Aquaculture on the Carbon Circular Economy." *Journal of Cleaner Production* 279.
- AZWAR, ELFINA ET AL. 2022. "Progress in Thermochemical Conversion of Aquatic Weeds in Shellfish Aquaculture for Biofuel Generation: Technical and Economic Perspectives." *Bioresource Technology* 344(PA): 126202. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126202>.
- BALDI, L. ET AL. 2022. "Consumer Attitude and Acceptance toward Fish Fed with Insects: A Focus on the New Generations." *Journal of Insects as Food and Feed* 8(11): 1249-63. <https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/JIFF2021.0109> (February 13, 2023).
- BHATTACHARJYA, RAYA, PANKAJ KUMAR SINGH, ARCHANA TIWARI. 2021. "Aquaculture Water as a Source of Sustainable Growth Medium for Diatom Cultivation and Its Nutritive Suitability as a Potential Aqua Feed." *Environmental Technology and Innovation* 24: 101987. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101987>.
- BOFFA, VITTORIO ET AL. 2022. "Potential of Nanofiltration Technology in Recirculating Aquaculture Systems in a Context of Circular Economy." *Chemical Engineering Journal Advances* 10(November 2021): 100269. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100269>.
- BOHNES, FLORENCE ALEXIA, MICHAEL ZWICKY HAUSCHILD, JØRGEN SCHLUNDT, ALEXIS LAURENT. 2019. "Life Cycle Assessments of Aquaculture Systems: A Critical Review of Reported Findings with Recommendations for Policy and System Development." *Reviews in Aquaculture* 11(4): 1061-79.

- BORRELLO, MASSIMILIANO, STEFANO PASCUCCI, LUIGI CEMBALO. 2020. "Three Propositions to Unify Circular Economy Research: A Review." *Sustainability (Switzerland)* 12(10).
- CAMPANATI, CAMILLA, DAVID WILLER, JASMIN SCHUBERT, DAVID C. ALDRIDGE. 2022a. "Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth." *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture* 30(2): 143-69. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>.
- . 2022b. "Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth." *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture* 30(2): 143-69. <https://doi.org/10.1080/23308249.2021.1897520>.
- CARVALHO PEREIRA, JOANA, ANJA LEMOINE, PETER NEUBAUER, STEFAN JUNNE. 2022. "Perspectives for Improving Circular Economy in Brackish Shrimp Aquaculture." *Aquaculture Research* 53(4): 1169-80.
- CASADO-COY, NURIA, PABLO SÁNCHEZ-JEREZ, JESUS S. TRONCOSO, CARLOS SANZ-LAZARO. 2022. "Mollusc-Shell Debris Derived from Aquaculture Can Promote Macrofaunal Communities with a High Bioturbation Capacity." *Aquaculture* 548(October 2021).
- CHARY, KILLIAN, DANIELE BRIGOLIN, MYRIAM D. CALLIER. 2022. "Farm-Scale Models in Fish Aquaculture – An Overview of Methods and Applications." *Reviews in Aquaculture* 14(4): 2122-57.
- CHEN, JIH HENG ET AL. 2019. "A Novel Process for the Mixotrophic Production of Lutein with *Chlorella Sorokiniana* MB-1-M12 Using Aquaculture Wastewater." *Bioresource Technology* 290(July): 121786. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121786>.
- CIRIMINNA, LAURA ET AL. 2021. "Turning Waste into Gold: Sustainable Feed Made of Discards from the Food Industries Promotes Gonad Development and Colouration in the Commercial Sea Urchin *Paracentrotus Lividus* (Lamarck, 1816)." *Aquaculture Reports* 21: 100881. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100881>.
- COLOMBO, STEFANIE M. ET AL. 2022. "Towards Achieving Circularity and Sustainability in Feeds for Farmed Blue Foods." *Reviews in Aquaculture* (November): 1-27.
- COONEY, RONAN ET AL. 2023. "A Circular Economy Framework for Seafood Waste Valorisation to Meet Challenges and Opportunities for Intensive Production and Sustainability." *Journal of Cleaner Production* 392(May 2022).
- COPPOLA, DANIELA ET AL. 2021a. "Fish Waste: From Problem to Valuable Resource." *Marine Drugs* 19(2): 1-39.

- . 2021b. “Fish Waste: From Problem to Valuable Resource.” *Marine Drugs* 19(2): 1-39.
- CORNEJO-PONCE, LORENA ET AL. 2020. “Integrated Aquaculture Recirculation System (Iars) Supported by Solar Energy as a Circular Economy Alternative for Resilient Communities in Arid/Semi-Arid Zones in Southern South America: A Case Study in the Camarones Town.” *Water (Switzerland)* 12(12): 1-17.
- CRISTIANO, SILVIO ET AL. 2022. “Innovative Options for the Reuse and Valorisation of Aquaculture Sludge and Fish Mortalities: Sustainability Evaluation through Life-Cycle Assessment.” *Journal of Cleaner Production* 352(October 2021): 131613. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131613>.
- CUTAJAR, KARL ET AL. 2022. “Culturing the Sea Cucumber *Holothuria Poli* in Open-Water Integrated Multi-Trophic Aquaculture at a Coastal Mediterranean Fish Farm.” *Aquaculture* 550(November 2021).
- CUTAJAR, NEIL ET AL. 2022. “Turning Waste into A Resource: Isolation and Characterization of High-Quality Collagen and Oils from Atlantic Bluefin Tuna Discards.” *Applied Sciences (Switzerland)* 12(3).
- DAUDA, AKEEM BABATUNDE, ABDULLATEEF AJADI, ADENIKE SUSAN TOLAFABUNMI, AYOOLA OLUSEGUN AKINWOLE. 2019. “Waste Production in Aquaculture: Sources, Components and Managements in Different Culture Systems.” *Aquaculture and Fisheries* 4(3): 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.10.002>.
- DENG, YI ET AL. 2021. “Microalgae for Nutrient Recycling from Food Waste to Aquaculture as Feed Substitute: A Promising Pathway to Eco-Friendly Development.” *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 96(9): 2496-2508.
- DONTHU, NAVEEN ET AL. 2021. “How to Conduct a Bibliometric Analysis: An Overview and Guidelines.” *Journal of Business Research* 133(May): 285-96. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>.
- EROLDOĞAN, ORHAN TUFAN ET AL. 2022. “From the Sea to Aquafeed: A Perspective Overview.” *Reviews in Aquaculture* (September): 1-30.
- ESTEVEZ, ANA F. ET AL. 2022. “Microalgal Growth in Aquaculture Effluent: Coupling Biomass Valorisation with Nutrients Removal.” *Applied Sciences (Switzerland)* 12(24).
- EUMOFA. 2018. European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products *Blue Bioeconomy. Situation Report and Perspectives*.
- EUROPEAN COMMISSION. 2012. “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Blue Growth—Opportunities for Marine and Maritime Sustainable Growth.” *COM/2012/494/Final*: 12. http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue_growth/.

- . 2015. *COM/2015/0614 Final*. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF.
- . 2017. *Regulation (EU) 2017/1004 of the European Parliament and of the Council of 17 May 2017 on the Establishment of a Union Framework for the Collection, Management and Use of Data in the Fisheries Sector and Support for Scientific Advice Regarding the Common* .
- . 2019. *53 The European Green Deal*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0640&from=EN>.
- . 2020a. *21 A Farm to Fork Strategy for a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System*.
- . 2020b. *COM/2020/98 final New Circular Economy Action Plan*.
- . 2021a. “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Empty “Strategic Guidelines for a More Sustainable and Competitive EU Aquaculture for the Period 2021 To.” *COM/2021/236/Final*: 1-8.
- . 2021b. “European Green Deal: Commission Adopts Strategic Guidelines for Sustainable and Competitive EU Aquaculture.” (May). https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_1554.
- . 2021c. *Strategic Guidelines for More Sustainable and Competitive EU Aquaculture for the Periodi 2021-2030 COM(2021) 236*.
- FAO. 1998. Food and Agriculture Organization of the United Nations *Rural Aquaculture: Overview and Framework for Country Reviews*.
- . 2010. “Aquaculture Development.” *FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries* 5: 40.
- . 2018. “Achieving Blue Growth.” *Fao*: 23.
- . 2022a. *1376 FAO Fisheries and Aquaculture Report Report of the Global Conference on Aquaculture Millennium +20 Aquaculture for Food and Sustainable Development Shanghai, China, 22-25 September 2021*. https://www.proquest.com/scholarly-journals/report-global-conference-on-aquaculture/docview/2665175805/se-2?accountid=206735%0Ahttps://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/QquwM?_a=ChgyMDIyMTIxOTE1MzEyODM0Mzo2MzkyMTgSBzE0MDM5MjUaCk9ORV9TRUFSQ0giDzExMi4yMD Eu.
- . 2022b. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. <https://www.fao.org/3/cc0461en/online/cc0461en.html>.
- FERNANDES, HELENA ET AL. 2022. “Application of Fermented Brewer’s Spent Grain Extract in Plant-Based Diets for European Seabass Juveniles.” *Aquaculture* 552(December 2021).

- FERREIRA, INÊS, AMÉLIA P. RAUTER, NARCISA M. BANDARRA. 2022. "Marine Sources of DHA-Rich Phospholipids with Anti-Alzheimer Effect." *Marine Drugs* 20(11).
- FREITAS, JORGE, PAULO VAZ-PIRES, JOSÉ S. CÂMARA. 2020. "From Aquaculture Production to Consumption: Freshness, Safety, Traceability and Authentication, the Four Pillars of Quality." *Aquaculture* 518.
- FRICKE, ENNO ET AL. 2022. "Brown Shrimp (*Crangon Crangon*) Processing Remains as Ingredient for *Litopenaeus Vannamei* Feeds: Biochemical Characterisation and Digestibility." *Aquaculture Reports* 25(August): 101225. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101225>.
- GATTO, FABIANA, ILARIA RE. 2021. "Circular Bioeconomy Business Models to Overcome the Valley of Death. A Systematic Statistical Analysis of Studies and Projects in Emerging Bio-Based Technologies and Trends Linked to the Sme Instrument Support." *Sustainability (Switzerland)* 13(4): 1-37.
- GUDBRANDSDOTTIR, INGUNN Y. ET AL. 2021. "Transition Pathways for the Farmed Salmon Value Chain: Industry Perspectives and Sustainability Implications." *Sustainability (Switzerland)* 13(21): 1-23.
- HOERTERER, CHRISTINA ET AL. 2022. "Effects of Dietary Plant and Animal Protein Sources and Replacement Levels on Growth and Feed Performance and Nutritional Status of Market-Sized Turbot (*Scophthalmus Maximus*) in RAS." *Frontiers in Marine Science* 9(November): 1-16.
- HOU, ERH JEN, CHI SHIH HUANG, YING CHOU LEE, HSUEH TING CHU. 2022. "Upcycled Aquaculture Waste as Textile Ingredient for Promoting Circular Economy." *Sustainable Materials and Technologies* 31: e00336. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00336>.
- IACOVIDOU, ELENI, JOEL MILLWARD-HOPKINS, ET AL. 2017. "A Pathway to Circular Economy: Developing a Conceptual Framework for Complex Value Assessment of Resources Recovered from Waste." *Journal of Cleaner Production* 168: 1279-88. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.002>.
- IACOVIDOU, ELENI, COSTAS A. VELIS, ET AL. 2017. "Metrics for Optimising the Multi-Dimensional Value of Resources Recovered from Waste in a Circular Economy: A Critical Review." *Journal of Cleaner Production* 166: 910-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.100>.
- IÑARRA, B. ET AL. 2022. "Ecodesign of New Circular Economy Scheme for Brewer's Side Streams." *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 28(November 2021).
- ISO. 2006. "ISO. (2006). ISO 14044. Environmental Management–Life Cycle Assessment–Requirements and Management."

- JAGTAP, SANDEEP ET AL. 2021. "Codesign of Food System and Circular Economy Approaches for the Development of Livestock Feeds from Insect Larvae." *Foods* 10(8): 1-15.
- JIMÉNEZ VEUTHEY, MARIANA ET AL. 2022. "Production of the Marine Microalga *Nannochloropsis Gaditana* in Pilot-Scale Thin-Layer Cascade Photobioreactors Using Fresh Pig Slurry Diluted with Seawater." *Journal of Water Process Engineering* 48(May).
- KOTTA, JONNE ET AL. 2020. "Cleaning up Seas Using Blue Growth Initiatives: Mussel Farming for Eutrophication Control in the Baltic Sea." *Science of the Total Environment* 709.
- KUNDU, DEBAJYOTI ET AL. 2022. "Valorization of Wastewater: A Paradigm Shift towards Circular Bioeconomy and Sustainability." *Science of the Total Environment* 848(July): 157709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157709>.
- LASO, JARA ET AL. 2022. "Achieving Sustainability of the Seafood Sector in the European Atlantic Area by Addressing Eco-Social Challenges: The NEPTUNUS Project." *Sustainability (Switzerland)* 14(5).
- LOPES, CARLA ET AL. 2015. "Valorisation of Fish By-Products against Waste Management Treatments – Comparison of Environmental Impacts." *Waste Management* 46: 103-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.017>.
- LOPES, IVÁ GUIDINI, LUCAS BOSCOV BRAOS, MARA CRISTINA PESSÔA CRUZ, ROSE MEIRE VIDOTTI. 2021a. "Valorization of Animal Waste from Aquaculture through Composting: Nutrient Recovery and Nitrogen Mineralization." *Aquaculture* 531(August 2020): 735859. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735859>.
- . 2021b. "Valorization of Animal Waste from Aquaculture through Composting: Nutrient Recovery and Nitrogen Mineralization." *Aquaculture* 531(June 2020): 735859. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735859>.
- MACDONALD, JACKIE. 2014. 34 *Journal of the Canadian Health Libraries Association / Journal de l'Association des bibliothèques de la santé du Canada Systematic Approaches to a Successful Literature Review*.
- MACFARLANE, ANDREW, TONY RUSSELL-ROSE, FARHAD SHOKRANEH. 2022. "Search Strategy Formulation for Systematic Reviews: Issues, Challenges and Opportunities." *Intelligent Systems with Applications* 15: 200091. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2022.200091>.
- MAGNABOSCO, GIULIA ET AL. 2021. "New Material Perspective for Waste Seashells by Covalent Functionalization." *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 9(18): 6203-8.

- MARQUES, ALEXANDRA ET AL. 2022. "Understanding the Interaction between Terrestrial Animal Fat Sources and Dietary Emulsifier Supplementation on Muscle Fatty Acid Profile and Textural Properties of European Sea Bass." *Aquaculture* 560(April): 7385-47. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738547>.
- MONTEIRO DOS SANTOS, DRIELY KATHRINY ET AL. 2022. "Defatted Black Soldier Fly Larvae Meal as a Dietary Ingredient for Tambaqui (*Colossoma Macropomum*): Digestibility, Growth Performance, Haematological Parameters, and Carcass Composition." *Aquaculture Research* 53(18): 6762-70.
- MONTEIRO, MARTA ET AL. 2018. "A Blend of Land Animal Fats Can Replace up to 75% Fish Oil without Affecting Growth and Nutrient Utilization of European Seabass." *Aquaculture* 487(December 2017): 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.043>.
- MORRIS, JAMES P., THIERRY BACKELJAU, GAUTHIER CHAPELLE. 2019. "Shells from Aquaculture: A Valuable Biomaterial, Not a Nuisance Waste Product." *Reviews in Aquaculture* 11(1): 42-57.
- MRAZ, JAN, HUI JIA, KOUSHIK ROY. 2022. "Biomass Losses and Circularity along Local Farm-to-Fork: A Review of Industrial Efforts with Locally Farmed Freshwater Fish in Land-Locked Central Europe." *Reviews in Aquaculture* (October): 1-17.
- MUTALIPASSI, MIRKO ET AL. 2021. "Bioactive Compounds of Nutraceutical Value from Fishery and Aquaculture Discards." *Foods* 10(7): 1-22.
- NAPOLITANO, GAETANA ET AL. 2022. "Towards Sustainable Aquaculture Systems: Biological and Environmental Impact of Replacing Fishmeal with *Arthrospira Platensis* (Nordstedt) (Spirulina)." *Journal of Cleaner Production* 374(August): 133978. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133978>.
- NAYLOR, ROSAMOND L. ET AL. 2002. "Effect of Aquaculture on World Fish Supplies." *Nature* 405(6790): 1017-24.
- NGUYEN, LUONG N. ET AL. 2022. "Nutrient Removal by Algae-Based Wastewater Treatment." *Current Pollution Reports* 8(4): 369-83. <https://doi.org/10.1007/s40726-022-00230-x>.
- OECD/FAO. 2022. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*. Paris.
- OOSTING, SIMON ET AL. 2022. "Farmed Animal Production in Tropical Circular Food Systems." *Food Security* 14(1): 273-92. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01205-4>.
- OWSIANIAK, MIKOŁAJ ET AL. 2022. "Performance of Second-Generation Microbial Protein Used as Aquaculture Feed in Relation to Planetary Boundaries." *Resources, Conservation and Recycling* 180(January).
- PAGE, MATTHEW J. ET AL. 2021. "The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews." *The BMJ* 372.

- PEREIRA, ANTIA G. ET AL. 2022. "Single-Cell Proteins Obtained by Circular Economy Intended as a Feed Ingredient in Aquaculture." *Foods* 11(18): 1-22.
- PETEREIT, JESSICA ET AL. 2022. "Adult European Seabass (*Dicentrarchus Labrax*) Perform Well on Alternative Circular-Economy-Driven Feed Formulations." *Sustainability (Switzerland)* 14(12): 1-18.
- PIAZZON, M.C. ET AL. 2022. "A Novel Fish Meal-Free Diet Formulation Supports Proper Growth and Does Not Impair Intestinal Parasite Susceptibility in Gilthead Sea Bream (*Sparus Aurata*) with a Reshape of Gut Microbiota and Tissue-Specific Gene Expression Patterns." *Aquaculture* 558(November 2021).
- PLEIĆ, IVANA LEPEN ET AL. 2022. "A Plant-Based Diet Supplemented with *Hermetia Illucens* Alone or in Combination with Poultry by-Product Meal: One Step Closer to Sustainable Aquafeeds for European Seabass." *Journal of Animal Science and Biotechnology* 13(1): 1-22.
- REGUEIRO, LETICIA ET AL. 2022. "Opportunities and Limitations for the Introduction of Circular Economy Principles in EU Aquaculture Based on the Regulatory Framework." *Journal of Industrial Ecology* 26(6): 2033-44.
- RUIZ-SALMÓN, ISRAEL ET AL. 2020. "Addressing Challenges and Opportunities of the European Seafood Sector under a Circular Economy Framework." *Current Opinion in Environmental Science and Health* 13: 101-6. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.01.004>.
- SAN JUAN, MARTA GOMEZ, ANNE BOGDANSKI, OLIVIER DUBOIS. 2019. *Background Material for the FAO Publication towards Sustainable Bioeconomy*. <http://www.fao.org/3/a-bs923e.pdf>.
- SANZ-LAZARO, CARLOS, PABLO SANCHEZ-JEREZ. 2020. "Regional Integrated Multi-Trophic Aquaculture (RIMTA): Spatially Separated, Ecologically Linked." *Journal of Environmental Management* 271(July 2019): 110921. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110921>.
- SMITH, MARTIN D. ET AL. 2010. "Sustainability and Global Seafood." *Science* 327(5967): 784-86.
- THOMAS, JEAN BAPTISTE E. ET AL. 2022. "Marine Biomass for a Circular Blue-Green Bioeconomy? A Life Cycle Perspective on Closing Nitrogen and Phosphorus Land-Marine Loops." *Journal of Industrial Ecology* 26(6): 2136-53.
- TUMILAR, ALDRIC S. ET AL. 2021. "A Modelling Framework for the Conceptual Design of Low-Emission Eco-Industrial Parks in the Circular Economy: A Case for Algae-Centered Business Consortia." *Water (Switzerland)* 13(1).

- UNITED NATIONS. 2015. "TRANSFORMING OUR WORLD: THE 2030 AGENDA FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT Sustainabledevelopment.Un.Org A/RES/70/1." : 1-41.
- VALCARCEL, JESUS ET AL. 2021. "Production and Physicochemical Characterization of Gelatin and Collagen Hydrolysates from Turbot Skin Waste Generated by Aquaculture Activities." *Marine Drugs* 19(9).
- VALENTE, LUÍSA MARIA PINHEIRO ET AL. 2019. 45 Fish Physiology and Biochemistry *Defatted Microalgae (Nannochloropsis Sp.) from Biorefinery as a Potential Feed Protein Source to Replace Fishmeal in European Sea Bass Diets.*
- VILLAR-NAVARRO, ELENA, CARMEN GARRIDO-PÉREZ, JOSÉ A. PERALES. 2021. "Recycling 'Waste' Nutrients Back into RAS and FTS Marine Aquaculture Facilities from the Perspective of the Circular Economy." *Science of the Total Environment* 762: 143057. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143057>.
- WALZ, MATTHIAS, EDELTRAUD GUENTHER. 2021. "What Effects Does Material Flow Cost Accounting Have for Companies?: Evidence from a Case Studies Analysis." *Journal of Industrial Ecology* 25(3): 593-613.
- ZARANTONIELLO, MATTEO ET AL. 2020. "Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) Reared on Roasted Coffee by-Product and *Schizochytrium* Sp. as a Sustainable Terrestrial Ingredient for Aquafeeds Production." *Aquaculture* 518(October 2019).
- ZHAN, JUNXIONG, JINSHAN LU, DI WANG. 2022. "Review of Shell Waste Reutilization to Promote Sustainable Shellfish Aquaculture." *Reviews in Aquaculture* 14(1): 477-88.

Life cycle inventory della produzione di clementine in Calabria: modellizzazione dell'inventario della fase agricola attraverso la raccolta di dati primari

Giacomo Falcone

Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria

Giovanni Gulisano

Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria

Maria Ranieri

Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria

Alfio Strano

Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria

ABSTRACT

La crescente affermazione delle metodologie di valutazione del ciclo di vita, come strumento di supporto per le strategie di sviluppo sostenibile, impone alla comunità scientifica uno sforzo per creare solide basi per la diffusione e l'implementazione da parte dei professionisti della valutazione del ciclo di vita in ambito nazionale. In particolare, l'applicazione della metodologia Life Cycle Assessment si basa fortemente sulla disponibilità di dati di processo, attualmente resi disponibili principalmente da database commerciali che però non sempre rappresentano a pieno il processo oggetto di studio.

Questo è particolarmente vero per i processi produttivi agricoli, che sono plasmati sulle realtà territoriali dove vengono praticati e risentono delle caratteristiche del territorio a causa della natura biologica. Per far fronte alla carenza di dati sito-specifici, è stata avviata un'attività di ricerca nell'ambito di un Progetto di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale – PRIN 2017. Il Progetto “Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian Life Cycle Inventory Database of Agri-Food Products” ha l'obiettivo di sviluppare un database italiano di Life Cycle Inventory (LCI) dei prodotti agroalimentari. In questo contributo vengono riportati i primi risultati relativi alla modellizzazione della filiera agrumicola nazionale, attività di cui è responsabile l'unità operativa dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, utilizzando un approccio di primary data collection. L'analisi si è focalizzata sull'areale della piana di Lamezia Terme, nella Calabria centrale, ed ha consentito, attraverso l'analisi di 30 aziende clementinicole, la realizzazione di un dataset sulla coltivazione integrata di clementine basata su dati primari.

PAROLE CHIAVE/KEYWORDS: life cycle assessment, production cost analysis, citrus, life cycle inventory, integrated production, italian life cycle inventory

1 Introduzione/Introduction

Le filiere agroalimentari rappresentano complesse reti di attività e rapporti economici che collegano diversi attori, inclusi produttori, trasformatori, distributori e consumatori finali (Falcone et al., 2020). Queste reti sono organizzate gerarchicamente, con i produttori alla base e i consumatori finali in cima. Le filiere agroalimentari giocano un ruolo cruciale nell'economia di una regione, poiché contribuiscono a generare valore aggiunto e occupazione, soprattutto nelle aree rurali e remote che spesso non sfruttano appieno il loro potenziale economico. La creazione di filiere agroalimentari sostenibili e competitive è quindi fondamentale per combattere la disoccupazione, sostenere le attività locali e consentire ai piccoli produttori di accedere a nuovi mercati, aumentando le loro entrate e opportunità di investimento (Gulisano et al., 2018).

A differenza di altre produzioni agricole che generalmente sono rappresentate dalla coltivazione di una specie vegetale, il comparto agrumicolo è rappresentato da una produzione molto eterogenea che può essere sotto-categorizzata in funzione della famiglia di agrume coltivato; per questa ragione, nel dettaglio dei vari scenari, sono state evidenziate le diverse categorie di prodotto. Fino al 2018 erano coltivati ad agrumi più di 11 milioni di ettari nel mondo. Analizzando l'evoluzione delle superfici coltivate nei diversi continenti, emerge una certa stabilità nell'uso del suolo derivante da queste coltivazioni, eccezion fatta per le superfici ad arance e mandarini e mandarino-simili che tra il 2017 e il 2018 hanno fatto registrare un'impennata di circa 2 milioni di ettari (Faostat, 2021).

L'Asia è il continente con la più alta superficie investita ad agrumi, seguita dall'America, con cui si contende il primato degli investimenti. L'Europa rappresenta il penultimo continente in termini di superfici destinate all'agrumicoltura, seguita soltanto dall'Oceania. In Europa, la coltivazione degli agrumi è concentrata soprattutto nei paesi del bacino del Mediterraneo; pertanto, le superfici idonee alla coltivazione dei frutti di agrumi risultano alquanto limitate. Sia a livello di superfici che di produzioni e rese, il comparto agrumicolo è dominato dalla Spagna, che risulta essere il primo produttore europeo di agrumi, e dall'Italia, che risulta essere il primo produttore europeo di mandarini e mandarino-simili e di agrumi minori (Faostat, 2022).

Secondo i dati Istat (2019), in Italia le superfici coltivate ad agrumi si attestano a circa 145,000 ettari, di cui circa 80,000 ettari ad arancio, 26,000 ettari a clementino e altrettanti a mandarino, a cui seguono limone e specie minori, per una produzione totale di 2.5-3.5 milioni di tonnellate. Dal dettaglio regionale emerge che la produzione e la corrispondente superficie sono concentrate principalmente nelle regioni Sicilia e Calabria,

che da sole rappresentano circa l'80% della produzione nazionale. L'agrumicoltura è una delle poche colture specializzate della regione Calabria, e dai dati statistici emergono areali in cui si concentra la produzione delle principali tipologie di agrumi: nei comprensori della Piana di Sibari, della Piana di Lamezia Terme, della Piana di Gioia Tauro, della Locride e in alcuni comuni del versante jonico catanzarese. La metà della produzione agrumicola della Calabria è concentrata in soli 18 Comuni.

Con la pubblicazione del Green Deal Europeo, il principale obiettivo delle politiche europee è quello di raggiungere la neutralità climatica attraverso un approccio globale che miri a ottenere aria, acqua e suolo più puliti, bollette energetiche più economiche, case restaurate, miglioramento dei trasporti pubblici e aumento di stazioni di ricarica per le automobili elettriche, diminuzione dei rifiuti, cibo più sano e un miglioramento della salute per le generazioni presenti e future. Risulta chiara l'importanza del settore agricolo in questo processo di transizione, e risulta ancora più evidente la necessità di potenziare le metriche attualmente disponibili per la valutazione delle impronte ambientali dei diversi processi produttivi, così da poter attuare strategie di miglioramento efficaci e concrete.

A tale scopo, gli strumenti di analisi del ciclo di vita sono tra i più efficaci, consentendo agli esperti di valutare le prestazioni relative alla sostenibilità ambientale (Life Cycle Assessment - LCA), economica (Life Cycle Costing - LCC) e sociale (Social Life Cycle Assessment - SLCA) (Stillitano et al., 2021). Tra questi strumenti, la metodologia LCA (ISO 2006a e 2006b) è quella che sta ricevendo maggiormente l'attenzione della comunità scientifica internazionale ed è applicata in diverse aree dell'economia.

Il settore agroalimentare è particolarmente attenzionato dagli esperti di valutazione del ciclo di vita ed è caratterizzato da aspetti distintivi rispetto ad altri settori, principalmente a causa della natura biologica dei suoi processi di produzione (Notarnicola et al., 2017 e 2022). Questo implica una forte connessione tra il processo produttivo e l'ambiente in cui si svolge, rendendo i processi non standardizzabili né generalizzabili. Questa peculiarità rappresenta una sfida significativa per coloro che conducono analisi del ciclo di vita nel settore agroalimentare, poiché devono modellare i processi produttivi basandosi su dati specifici del luogo e sviluppare il modello del ciclo di vita in base alla realtà produttiva specifica che intendono analizzare (Cerutti et al., 2015; Vono et al., 2023).

In tale contesto di riferimento, il Progetto di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale - PRIN 2017, dal titolo "Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian Life Cycle Inventory Database of Agri-Food Products", finanziato dal Ministero dell'Università e della

Ricerca, si è posto l'obiettivo di creare un database relativo alle principali filiere agroalimentari italiane: la filiera cerealicola, quella vitivinicola, quella olivicolo-olearia e quella agrumicolo-agrumaria.

Il presente studio si colloca all'interno delle attività di progetto, ed ha come obiettivo la compilazione di un inventario di dati primari relativi alle produzioni agrumicole nazionali. In particolare, è stata analizzata la produzione di Clementine in una delle principali aree di produzione italiane: la Piana di Sibari. I risultati di questo lavoro possono rappresentare un importante strumento per gli esperti di LCA che operano nel settore agroalimentare.

2 Metodologia/Methodology

La prima fase dell'implementazione metodologica degli strumenti di valutazione della sostenibilità ambientale dei processi produttivi agricoli ha riguardato la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione.

Il sistema di prodotto allo studio è quello della produzione di Clementine in Calabria; pertanto, essendo la funzione oggetto di studio quella produttiva, si è definita come Unità Funzionale (UF) "1 kg di clementine". Al fine di valutare tutti gli impatti legati alla produzione di "1 kg di clementine", i confini del sistema sono stati limitati solo alla fase di coltivazione, escludendo la fase di condizionamento e quella di distribuzione (Figura 001).

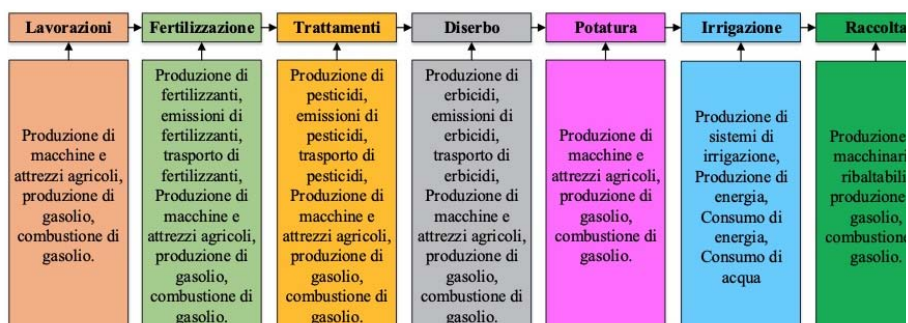


Figura 1 – Flow Chart della produzione di clementine

Non sono stati utilizzati criteri di allocazione; pertanto, tutti i flussi sono stati riferiti all'UF. Per quanto riguarda la qualità dei dati, per tutti i processi di coltivazione sono stati utilizzati dati primari, mentre per quanto riguarda i processi di produzione dei diversi input sono stati utilizzati dati

secondari. I dati relativi alle emissioni sono stati stimati. La fase di rilevazione dei dati è stata condotta attraverso l'uso di uno specifico questionario.

In particolare, è stato elaborato un questionario al fine di individuare sia i principali caratteri tecnico-economici che ci permetteranno di ottenere informazioni utili sugli aspetti organizzativi e gestionali ai fini dell'implementazione dell'analisi economico-finanziaria delle ipotesi di innovazione, sia gli input e gli output per l'applicazione della metodologia LCA al fine di valutare le performance di sostenibilità ambientale dei prodotti e processi identificati nelle aziende.

I dati aziendali rilevati sono stati successivamente elaborati al fine di valutare il profilo ambientale di uno scenario produttivo medio (MED) e di due possibili scenari di coltivazione estremi, modellizzati creando uno scenario a input minimi (MIN) ed uno scenario ad input massimi (MAX) sulla base dei valori più bassi e più alti individuati per ogni singolo processo colturale tra tutte e trenta le aziende analizzate. Per tutti e tre gli scenari sono state utilizzate le rese produttive medie, ma sono state effettuate anche delle analisi di sensitività attribuendo le rese più basse allo scenario ad input minimi e le rese più alte allo scenario ad input massimi, al fine di valutare gli effetti della produttività sull'ecoprofilo del prodotto.

Come fonte di dati secondari è stato utilizzato il database Ecoinvent 3.9 Cut-Off, mentre per quanto riguarda la stima delle emissioni si è proceduto utilizzando alcuni tra i più diffusi modelli di stima.

In particolare, relativamente ai concimi, attraverso la metodologia IPCC (IPCC, 2006), sono state stimate le emissioni di CO₂ legate all'applicazione di calce e urea. Attraverso la metodologia descritta da Zampori e Pant (2019), sono state stimate le emissioni atmosferiche di N₂O, NO_x, NH₃ e le emissioni di NO₃ in acqua. Il calcolo delle emissioni è stato eseguito attraverso l'applicazione delle seguenti formule:

Emissioni N_2O (fertilizzante sintetico e letame) in aria = $[kg\ N * 0,014] * 44/28$

Fattore di conversione = 0,022 kg N_2O /1 kg N fertilizzante applicato

Emissioni NO_x (fertilizzante sintetico e letame) in aria = $0,21 * (1)$

Fattore di conversione = 0,0046 kg NO_x /1 kg N fertilizzante applicato

Emissioni NH_3 (fertilizzante sintetico) in aria = $[kg\ N * 0,1] * 17/14$

Fattore di conversione = 0,12 kg NH_3 /1 kg N fertilizzante applicato

Emissioni NH_3 (letame) in aria = $[kg\ N * 0,2] * 17/14$

Fattore di conversione = 0,24 kg NH_3 /1 kg N fertilizzante applicato

Emissioni NO_3^- (fertilizzante sintetico e letame) in acqua = $[kg\ N * 0,3] * 62/14$

Fattore di conversione = 1,33 kg NO_3^- /1 kg N fertilizzante applicato

Emissioni CO_2 (urea) in aria = $[kg\ Urea * 0,2] * 44/12$

Fattore di conversione = 0,73 kg CO_2 /1 kg urea applicata

Infine, le emissioni di P nell'acqua sono state stimate utilizzando i modelli di emissione SALCA-P (Prasuhn, 2006). Attraverso l'adozione di tale approccio è stato possibile distinguere i percorsi delle emissioni nel suolo da quelli verso le acque superficiali. La determinazione è stata eseguita attraverso la seguente formula:

Emissioni fosforo (fertilizzante sintetico) in acqua = $[kg\ P_2O_5 * 0,05] * 62/142$

Fattore di conversione = 0,022 kg P/1 kg P_2O_5 di fertilizzante applicato

Le emissioni in suolo, aria e acqua sono state calcolate secondo le assunzioni riportate in Zampori e Pant (2019). Le emissioni derivanti dalla combustione del carburante sono state stimate in accordo con Nemecek e Kagi (2007). Tutti i dati sono stati raccolti in un inventario di dati primari basato sul framework riportato in tabella 001.

		SCENARIO		
PRODOTTO		MIN	MED	MAX
Clementine	kg	1		
INPUT NATURALI				
Acqua	m ³	2.54E-02	5.77E-02	9.13E-02

Occupazione del suolo	m2a	3.17E-05	7.21E-05	1.14E-04
INPUT DA TECNOSFERA				
Fertilizzazione azotata	kg	1.01E-03	2.22E-03	3.71E-03
Fertilizzazione fosfatica	kg	–	9.51E-04	2.88E-03
Fertilizzazione potassica	kg	–	1.43E-03	3.04E-03
Diesel	kg	1.35E-03	2.56E-03	4.78E-03
Trattrice	kg	5.39E-05	1.09E-04	1.87E-04
Attrezzo agricolo	kg	1.28E-05	2.60E-05	4.45E-05
Ricovero trattoria	m2	2.14E-07	4.34E-07	7.42E-07
Elettricità	kWh	1.24E-02	2.81E-02	4.45E-02
Olio Minerale	kg	-	1.33E-03	1.33E-03
Rame	kg	5.70E-04	2.85E-03	3.80E-03
Spirotetramat	kg	4.75E-04	3.80E-04	3.80E-04
Acetamidiprid	kg	–	3.80E-04	3.80E-04
Etofenprox	kg	–	9.51E-05	9.51E-05
Abamectin	kg	1.90E-04	1.90E-04	1.90E-04
Spinosad	kg	1.90E-04	–	–
EMISSIONI NELL'ARIA				
Ammoniaca	kg	2.69E-08	5.10E-08	9.55E-08
Benzene	kg	9.84E-09	1.86E-08	3.49E-08
Benzo(a)pirene	kg	1.28E-10	2.44E-10	4.56E-10
Cadmio (II)	kg	4.29E-11	8.13E-11	1.52E-10
Anidride carbonica, fossile	kg	1.33E-02	2.53E-02	4.73E-02
Cromo, ione	kg	2.14E-10	4.06E-10	7.60E-10
Rame, ione	kg	7.28E-09	1.38E-08	2.58E-08
Monossido di dinitrogeno	kg	5.14E-07	9.74E-07	1.82E-06
Metano, fossile	kg	5.53E-07	1.05E-06	1.96E-06
Nichel (II)	kg	2.99E-10	5.68E-10	1.06E-09
IPA, idrocarburi policiclici aromatici	kg	1.40E-08	2.66E-08	4.97E-08
Selenio	kg	4.29E-11	8.13E-11	1.52E-10

Biossido di zolfo	kg	4.31E-06	8.18E-06	1.53E-05
Zinco (II)	kg	4.29E-09	8.13E-09	1.52E-08
Particolato, < 2,5 um	kg	2.63E-05	5.34E-05	9.12E-05
NMVOC, composti organici volatili non metanici	g	6.42E-03	1.30E-02	2.23E-02
Ossidi di azoto	g	9.93E-02	2.02E-01	3.45E-01
Monossido di carbonio, fossile	g	3.23E-02	6.56E-02	1.12E-01
Olio minerale bianco (petrolio)	kg	–	2.40E-06	2.40E-06
Ossido di rame	kg	1.80E-05	5.13E-05	6.84E-05
Spirotetramat	kg	2.14E-06	1.71E-06	1.71E-06
Acetamiprid	kg	–	1.71E-06	1.71E-06
Etofenprox	kg	–	2.57E-06	2.57E-06
Abamectin	kg	3.42E-07	3.42E-07	3.42E-07
Spinosad	kg	4.11E-07	–	–
EMISSIONI NELL'ACQUA				
Ossido di rame	kg	2.00E-06	5.70E-06	7.61E-06
Olio minerale bianco (petrolio)	kg	–	2.66E-07	2.66E-07
Spirotetramat	kg	2.38E-07	1.90E-07	1.90E-07
Acetamiprid	kg	–	1.90E-07	1.90E-07
Etofenprox	kg	–	2.85E-07	2.85E-07
Abamectin	kg	3.80E-08	3.80E-08	3.80E-08
Spinosad	kg	4.56E-08	–	–
EMISSIONI NEL SUOLO				
Cadmio (II)	kg	4.39E-09	8.91E-09	1.52E-08
Zinco (II)	kg	1.17E-07	2.38E-07	4.06E-07
Piombo (II)	kg	1.90E-08	3.86E-08	6.60E-08
Ossido di rame	kg	1.80E-04	5.13E-04	6.84E-04
Olio minerale bianco (petrolio)	kg	–	2.40E-05	2.40E-05
Spirotetramat	kg	2.14E-05	1.71E-05	1.71E-05
Acetamiprid	kg	–	1.71E-05	1.71E-05
Etofenprox	kg	–	2.57E-05	2.57E-05

Abamectin	kg	3.42E-06	3.42E-06	3.42E-06
Spinosad	kg	4.11E-06	–	–

Tabella 1 – Inventario dei dati

Il metodo di valutazione degli impatti scelto è il Re.Ci.Pe 2016 nella versione midpoint che prevede la valutazione di 18 categorie d'impatto: *Global warming, Stratospheric ozone depletion, Ionizing radiation, Ozone formation, Human health, Fine particulate matter formation, Ozone formation, Terrestrial ecosystems, Terrestrial acidification, Freshwater eutrophication, Marine eutrophication, Terrestrial ecotoxicity, Freshwater ecotoxicity, Marine ecotoxicity, Human carcinogenic toxicity, Human non-carcinogenic toxicity, Land use, Mineral resource scarcity, Fossil resource scarcity, Water consumption*. I dati di inventario sono stati analizzati attraverso il software SIMAPRO 9.5.

3 Discussione dei risultati

L'analisi degli impatti ambientali effettuata tramite il metodo ReCiPE 2016 midpoint ha messo in evidenza un quadro abbastanza prevedibile, ossia che a parità di rese, la maggiore quantità di input rappresenta un costo ambientale, mentre lo scenario MIN rappresenta l'optimum perché garantisce degli impatti molto più bassi a parità di rese (Tabella 002). Questi risultati sono ovviamente condizionati dalla scelta di utilizzare per tutti e tre gli scenari le rese medie; tuttavia, come si potrà osservare più avanti, sono state effettuate delle analisi di sensitività attribuendo allo scenario MAX le rese più alte e allo scenario MIN le rese più basse.

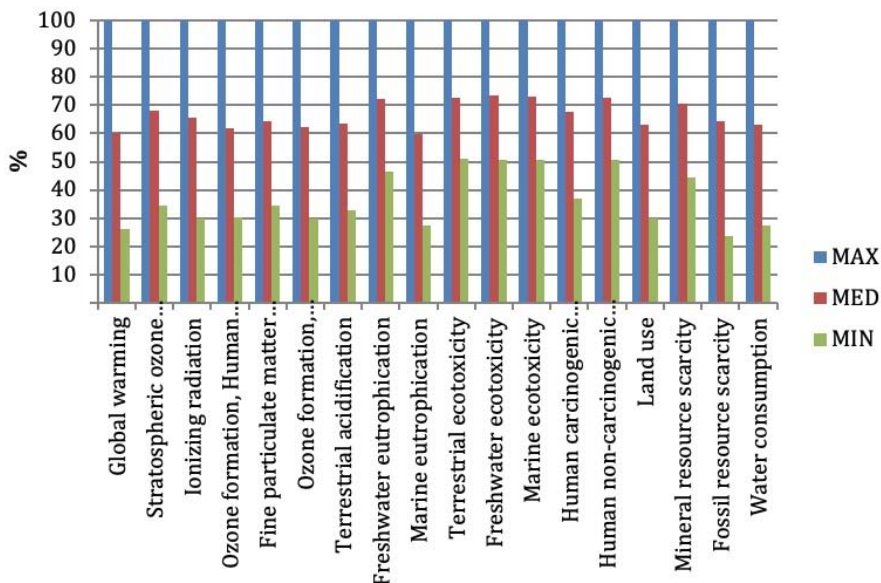
Categoria d'impatto	Unità	MAX	MED	MIN
Global warming	g CO2 eq	123.744	74.473	32.532
Stratospheric ozone depletion	g CFC11 eq	0.00012	0.00008	0.00004
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	6.414	4.192	1.920
Ozone formation, Human health	g NOx eq	0.661	0.410	0.200
Fine particulate matter formation	g PM2.5 eq	0.479	0.309	0.165
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	g NOx eq	0.677	0.421	0.203
Terrestrial acidification	g SO2 eq	1.749	1.112	0.570

Freshwater eutrophication	g P eq	0.058	0.042	0.027
Marine eutrophication	g N eq	1.122	0.673	0.308
Terrestrial ecotoxicity	g 1,4-DCB	3024.399	2198.243	1544.389
Freshwater ecotoxicity	g 1,4-DCB	34.341	25.151	17.393
Marine ecotoxicity	g 1,4-DCB	43.768	31.999	22.118
Human carcinogenic toxicity	g 1,4-DCB	7.486	5.071	2.760
Human non-carcinogenic toxicity	g 1,4-DCB	518.426	377.295	261.640
Land use	m2a crop eq	0.0044	0.0027	0.0013
Mineral resource scarcity	g Cu eq	2.301	1.627	1.021
Fossil resource scarcity	g oil eq	29.908	19.253	7.090
Water consumption	m3	0.093	0.059	0.026

**Tabella 2 – Caratterizzazione degli impatti.
Confronto tra scenari (UF 1kg di clementine)**

Sulla base delle assunzioni sopra descritte, possiamo affermare che lo scenario MAX è circa il 30% più impattante dello scenario MED, mentre lo scenario MIN è meno impattante dello scenario MED di circa il 20% (Figura 002).

Il decremento non è lineare, poiché anche nello scenario MIN alcuni processi unitari, come i trattamenti fitosanitari, hanno un impatto notevole.



**Figura 2 – Caratterizzazione degli impatti.
Scostamento tra scenari (100% = Scenario più impattante)**

Da questo punto di vista, maggiori informazioni possono essere desunte dalle analisi di contribuzione. Nello scenario MAX (Figura 003), i principali hotspot sono rappresentati dai trattamenti fitosanitari e dalla loro applicazione, e dalla fertilizzazione azotata. I trattamenti impattano in particolar modo sulle categorie della tossicità delle acque, della tossicità terrestre e della tossicità umana, mentre la loro distribuzione impatta particolarmente sulle categorie del riscaldamento globale, della formazione di ozono e dell'emissione di particolato fine a causa della combustione del carburante. La fertilizzazione azotata rappresenta un hotspot nelle categorie dell'eutrofizzazione marina e dell'acidificazione terrestre a causa delle emissioni di nitrati e di ammoniaca.

Anche l'irrigazione rappresenta un'operazione colturale molto impattante, non solo nella categoria relativa al consumo dell'acqua, dove è ovviamente l'operazione più impattante, ma anche in tutte le altre categorie d'impatto a causa del consumo di energia elettrica.

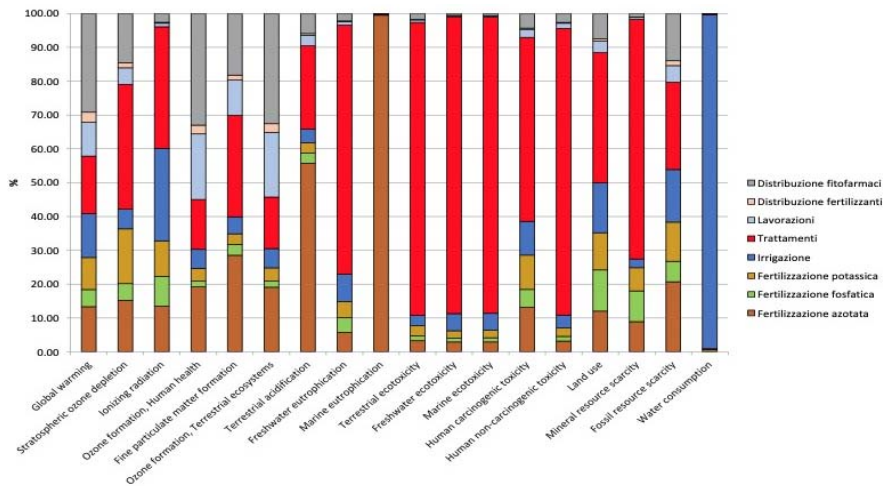


Figura 3 – Analisi di contribuzione degli impatti per lo scenario MAX

Nello scenario MED, il profilo delle contribuzioni è pressoché identico a quanto appena descritto per lo scenario MAX. Le differenze sono relative soprattutto a una minore incidenza della fertilizzazione fosfatica, che comunque in generale non rappresenta un hotspot nella coltivazione delle clementine, a un minore contributo delle lavorazioni e, quindi, a un maggiore peso percentuale dei trattamenti (Figura 004). Chiaramente, l'analisi di contribuzione va sempre letta tenendo come riferimento l'analisi quantitativa degli impatti (Tabella 002).

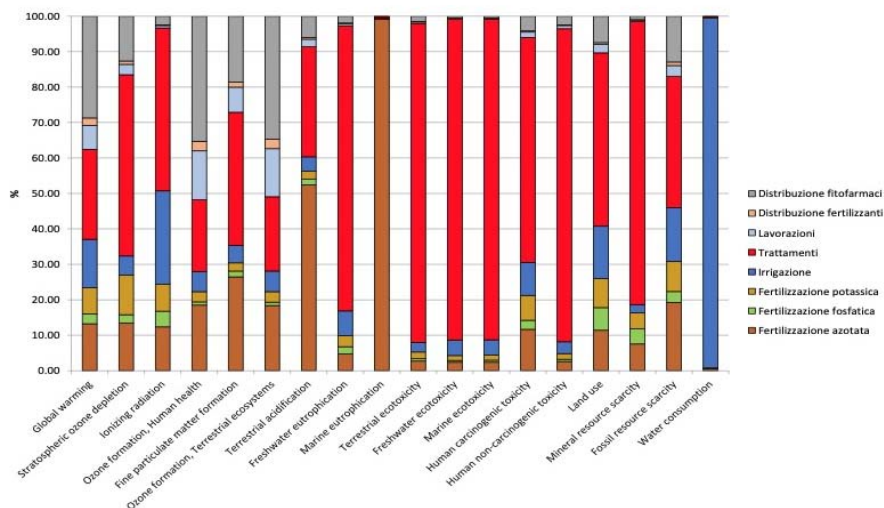


Figura 4 – Analisi di contribuzione degli impatti per lo scenario MED

Diverso è il profilo ambientale dello scenario MIN, dove chiaramente viene meno l'impatto relativo alle fertilizzazioni fosfatica e potassica. Anche la fertilizzazione azotata ha un impatto rilevante solo in alcune categorie (Eutrofizzazione marina, acidificazione terrestre, formazione di ozono e emissione di particolato fine) poiché è stata considerata come una fertilizzazione organica e, pertanto, gli impatti relativi alla produzione del concime sono pari a zero. I trattamenti fitosanitari, le operazioni meccaniche e l'irrigazione acquisiscono maggiore importanza in termini di contributo, ma solo perché il peso delle altre operazioni si riduce (Figura 005).

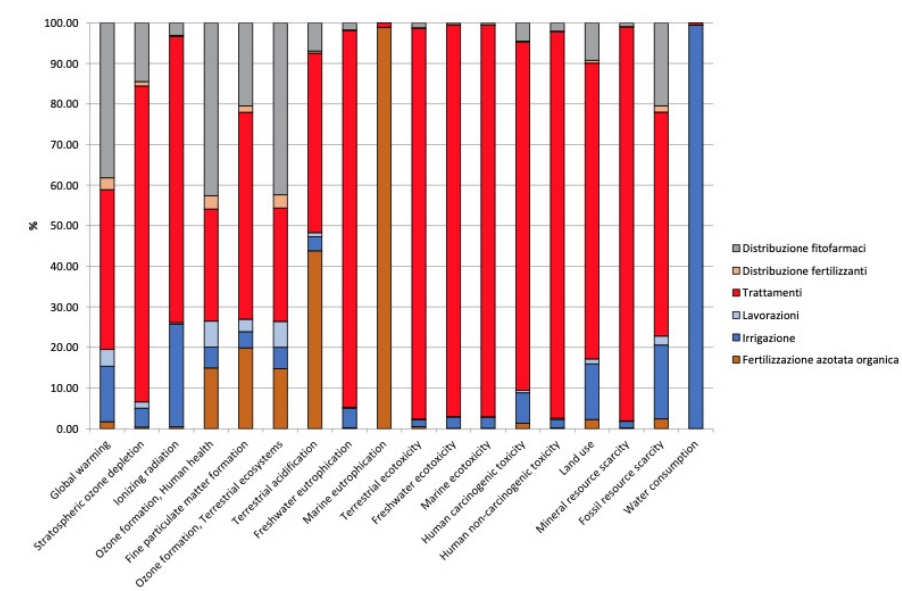


Figura 5 – Analisi di contribuzione degli impatti per lo scenario MIN

Si è deciso di valutare anche gli effetti della produttività legati ai diversi scenari ipotizzati, immaginando che lo scenario MAX produca di più e che quello MIN produca di meno rispetto allo scenario MED. Sono stati attribuiti a questi due scenari, quindi, le rese massime e minime riscontrate nelle 30 aziende analizzate (Tabella 003).

PRODOTTO		SCENARIO		
		MIN MIN	MED	MAX MAX
Clementine	kg	1		
INPUT NATURALI				
Acqua	m3	4.00E-02	5.77E-02	6.40E-02
Occupazione del suolo	m2a	5.00E-05	7.21E-05	8.00E-05
INPUT DA TECNOSFERA				
Fertilizzazione azotata	kg	1.60E-03	2.22E-03	2.60E-03
Fertilizzazione fosfatica	kg	–	9.51E-04	2.02E-03
Fertilizzazione potassica	kg	–	1.43E-03	2.13E-03

Diesel	kg	2.13E-03	2.56E-03	3.35E-03
Trattrice	kg	8.51E-05	1.09E-04	1.31E-04
Attrezzo agricolo	kg	2.03E-05	2.60E-05	3.12E-05
Ricovero trattrice	m2	3.37E-07	4.34E-07	5.20E-07
Elettricità	kWh	1.95E-02	2.81E-02	3.12E-02
Olio Minerale	kg	–	1.33E-03	9.33E-04
Rame	kg	9.00E-04	2.85E-03	2.67E-03
Spirotetramat	kg	7.50E-04	3.80E-04	2.67E-04
Acetamiprid	kg	–	3.80E-04	2.67E-04
Etofenprox	kg	–	9.51E-05	6.67E-05
Abamectin	kg	3.00E-04	1.90E-04	1.33E-04
Spinosad	kg	3.00E-04	–	–
EMISSIONI NELL'ARIA				
Ammoniaca	kg	4.25E-08	5.10E-08	6.70E-08
Benzene	kg	1.55E-08	1.86E-08	2.45E-08
Benzo(a)pirene	kg	2.03E-10	2.44E-10	3.20E-10
Cadmio (II)	kg	6.77E-11	8.13E-11	1.07E-10
Anidride carbonica, fossile	kg	2.10E-02	2.53E-02	3.31E-02
Cromo, ione	kg	3.38E-10	4.06E-10	5.33E-10
Rame, ione	kg	1.15E-08	1.38E-08	1.81E-08
Monossido di dinitrogeno	kg	8.11E-07	9.74E-07	1.28E-06
Metano, fossile	kg	8.72E-07	1.05E-06	1.38E-06
Nichel (II)	kg	4.72E-10	5.68E-10	7.45E-10
IPA, idrocarburi policiclici aromatici	kg	2.21E-08	2.66E-08	3.49E-08
Selenio	kg	6.77E-11	8.13E-11	1.07E-10
Biossido di zolfo	kg	6.81E-06	8.18E-06	1.07E-05
Zinco (II)	kg	6.77E-09	8.13E-09	1.07E-08
Particolato, < 2,5 um	kg	4.15E-05	5.34E-05	6.40E-05
NMVOC, composti organici volatili non metanici	g	1.01E-02	1.30E-02	1.56E-02
Ossidi di azoto	g	1.57E-01	2.02E-01	2.42E-01

Monossido di carbonio, fossile	g	5.10E-02	6.56E-02	7.87E-02
Olio minerale bianco (petrolio)	kg	–	2.40E-06	1.68E-06
Ossido di rame	kg	2.84E-05	5.13E-05	4.80E-05
Spirotetramat	kg	3.38E-06	1.71E-06	1.20E-06
Acetamiprid	kg	–	1.71E-06	1.20E-06
Etofenprox	kg	–	2.57E-06	1.80E-06
Abamectin	kg	5.40E-07	3.42E-07	2.40E-07
Spinosad	kg	6.48E-07	–	–
EMISSIONI NELL'ACQUA				
Ossido di rame	kg	3.15E-06	5.70E-06	5.33E-06
Olio minerale bianco (petrolio)	kg	–	2.66E-07	1.87E-07
Spirotetramat	kg	3.75E-07	1.90E-07	1.33E-07
Acetamiprid	kg	–	1.90E-07	1.33E-07
Etofenprox	kg	–	2.85E-07	2.00E-07
Abamectin	kg	6.00E-08	3.80E-08	2.67E-08
Spinosad	kg	7.20E-08	–	–
EMISSIONI NEL SUOLO				
Cadmio (II)	kg	6.93E-09	8.91E-09	1.07E-08
Zinco (II)	kg	1.85E-07	2.38E-07	2.85E-07
Piombo (II)	kg	3.00E-08	3.86E-08	4.63E-08
Ossido di rame	kg	2.84E-04	5.13E-04	4.80E-04
Olio minerale bianco (petrolio)	kg	–	2.40E-05	1.68E-05
Spirotetramat	kg	3.38E-05	1.71E-05	1.20E-05
Acetamiprid	kg	–	1.71E-05	1.20E-05
Etofenprox	kg	–	2.57E-05	1.80E-05
Abamectin	kg	5.40E-06	3.42E-06	2.40E-06
Spinosad	kg	6.48E-06	–	–

Tabella 3 – Inventario dei dati usato per l'analisi di sensitività

Il risultato sostanzialmente non cambia e, anche considerando una resa di 20 tonnellate ad ettaro contro le 45 dello scenario MAX, lo scenario MIN si conferma il migliore in quasi tutte le categorie d'impatto. Le uniche categorie dove si ribalta la situazione sono Freshwater eutrophication, Terrestrial ecotoxicity, Freshwater ecotoxicity, Marine ecotoxicity e Human non-carcinogenic toxicity, tutte categorie interessate principalmente dai trattamenti fitosanitari.

In pratica, mentre gli impatti della fertilizzazione sono poco sensibili alla variazione di resa, quelli relativi ai trattamenti lo sono di più. Questo accade perché, mentre tra scenario MAX e scenario MIN i quantitativi di fertilizzanti sono molto diversi, quelli dei principi attivi usati per la difesa fitosanitaria ed il numero delle loro applicazioni è pressoché identico tra i due scenari (tra le diverse aziende analizzate lo schema della difesa fitosanitaria è quasi sempre replicato in maniera identica, quasi fosse una ricetta universale), e ciò comporta che, nel caso dello scenario MAX, gli impatti si spalmino su una quantità di prodotto maggiore (Tabella 004).

Categoria d'impatto	Unità	MAX	MED	MIN
Global warming	g CO2 eq	86.777	74.473	51.330
Stratospheric ozone depletion	g CFC11 eq	0.00008	0.00008	0.00006
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	4.498	4.192	3.029
Ozone formation, Human health	g NOx eq	0.464	0.410	0.316
Fine particulate matter formation	g PM2.5 eq	0.336	0.309	0.261
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	g NOx eq	0.475	0.421	0.321
Terrestrial acidification	g SO2 eq	1.227	1.112	0.900
Freshwater eutrophication	g P eq	0.040	0.042	0.042
Marine eutrophication	g N eq	0.787	0.673	0.486
Terrestrial ecotoxicity	g 1,4-DCB	2120.910	2198.243	2436.814
Freshwater ecotoxicity	g 1,4-DCB	24.082	25.151	27.444
Marine ecotoxicity	g 1,4-DCB	30.693	31.999	34.900
Human carcinogenic toxicity	g 1,4-DCB	5.250	5.071	4.355
Human non-carcinogenic toxicity	g 1,4-DCB	363.555	377.295	412.829
Land use	m2a crop eq	0.0031	0.0027	0.0020
Mineral resource scarcity	g Cu eq	1.613	1.627	1.611

Fossil resource scarcity	g oil eq	20.973	19.253	11.187
Water consumption	m3	0.065	0.059	0.040

**Tabella 4 – Caratterizzazione degli impatti.
Analisi di sensitività (UF 1kg di clementine)**

Dall'analisi comparativa in termini percentuali (Figura 006) emerge come, seppur lo scenario MAX sia sempre il peggiore e quello MIN sia sempre il migliore, gli scostamenti tra questi e lo scenario medio siano molto ridotti rispetto a quanto visto nella comparazione di base (Figura 002).

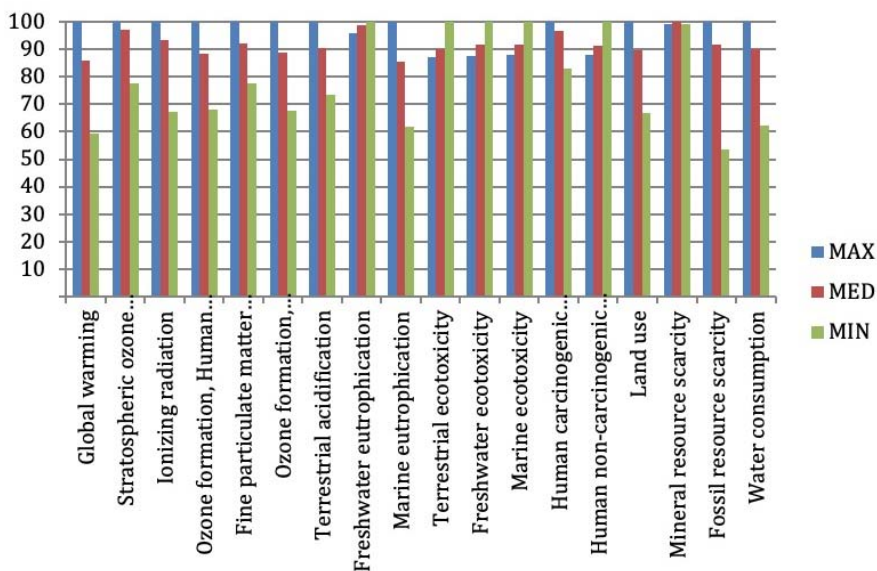


Figura 6 – Caratterizzazione degli impatti. Scostamento tra scenari dopo le analisi di sensitività (100% = Scenario più impattante)

4 Conclusioni

La conformazione orografica della regione Calabria non lascia molto spazio all'agricoltura, sebbene questa rappresenti uno dei settori portanti dell'economia dell'intera regione. Le zone più idonee alla pratica agricola sono le aree pianeggianti, come la Piana di Sibari, la Piana di

Lamezia e la Piana di Gioia Tauro, ed è proprio in queste zone che si concentra la coltivazione degli agrumi. L'agrumicoltura risulta essere uno dei comparti più importanti dell'agricoltura calabrese e quindi una risorsa economica molto significativa. La rilevanza di questo ramo dell'agricoltura è attribuibile soprattutto alle clementine, ibridi di arancio amaro e mandarino comune, coltivate prevalentemente nella provincia di Cosenza, con alti standard qualitativi.

Il settore agricolo è fortemente legato alla questione ambientale; secondo alcuni studiosi, rappresenta uno dei principali attori dell'inquinamento. L'attenzione al rispetto per l'ambiente è sempre crescente; il consumatore è oggi, rispetto al passato, molto più attento al rispetto dei requisiti ambientali, e, dal canto suo, il produttore deve puntare alla sostenibilità economica per poter fare impresa. L'importanza di rafforzare le metodologie esistenti per misurare l'impronta ambientale dei prodotti è cruciale per affrontare la transizione ecologica. La necessità di dati di inventario sito-specifici rappresenta oggi una delle principali sfide per gli studiosi di LCA.

Il Progetto "PRIN ILCIDAF" si pone come importante obiettivo quello di creare un Database Italiano sul comparto agroalimentare, partendo dalle principali filiere del food Made in Italy: pasta e pane, vino, olio e agrumi. Il presente studio rappresenta un esempio parziale e limitato dell'approccio seguito per popolare il DB ILCIDAF ma fornisce comunque utili indicazioni sia per il perfezionamento delle procedure di data gathering, sia agli studiosi di LCA che in questo lavoro possono trovare dati utili sulla produzione di clementine in Italia.

Ringraziamenti

Questo articolo fa parte dei risultati del progetto di ricerca "Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian LCI Database of Agri-Food Products (ILCIDAF)" (PRIN – Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale 2017- Prot. 2017EC9WF2, settore ERC SH2, Linea C- finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MUR).

Bibliografia

- CERUTTI, A.K., BECCARO, G.L., BOSCO, S., DE LUCA, A.I., FALCONE, G., FIORE, A., STRANO, B. (2015). Life Cycle Assessment in the Fruit Sector. In B. Notarnicola, R. Salomone, L. Petti, Renzulli P.A., Roma R., Cerutti A.K. (Eds.), *Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector* (pp. 333-388). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11940-3>
- FALCONE, G., IOFRIDA, N., STILLITANO, T., DE LUCA, A.I. (2020). Impacts of food and diets' life cycle: A brief review. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 13, 75-79. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.12.002>
- FAOSTAT. (2021). *Citrus Fruit Statistical Compendium 2020*, Rome.
- FAOSTAT. (2022). *Data on Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- GULISANO, G., STRANO, A., DE LUCA, A.I., FALCONE, G., IOFRIDA, N., STILLITANO, T. (2018). Evaluating the Environmental, Economic, and Social Sustainability of Agro-Food Systems Through Life Cycle Approaches. In C.M. Galanakis (Ed.), *Sustainable Food Systems From Agriculture to Industry – 6 – Improving Production and Processing* (pp. 123-152). Academic Press Inc Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-02157-5>
- ISO. (2006a). *ISO 14040 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*.
- ISO. (2006b). *ISO 14044 - Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*.
- ISTAT. (2019). *Coltivazioni: Coltivazioni legnose fruttifere*. <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=33705>
- NEMECEK, T., KÄGI, T. (2007). *Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. Final Report Ecoinvent V2.0 No. 15a*. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre of Life Cycle Inventories: Zurich and Dübendorf, CH.
- NOTARNICOLA, B., SALA, S., ANTON, A., MCLAREN, S.J., SAOUTER, E., SONESSON, U. (2017). The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*, 140, 399-409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.071>
- NOTARNICOLA, B., TASSIELLI, G., RENZULLI, P.A., DI CAPUA, R., SAIJA, G., SALOMONE, R., MISTRETTA, M. (2022). Life cycle inventory data for the Italian agri-food sector: background, sources and methodological aspects. *International Journal of Life Cycle Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-02020-x>

- PRASUHN V. (2006). Erfassung der PO₄ – Austräge für die Ökobilanzierung – SALCA-Phosphor. Agroscope FAL Reckenholz, Zürich, 22 S.
- STILLITANO, T., SPADA, E., IOFRIDA, N., FALCONE, G., DE LUCA, A.I. (2021). Sustainable agri-food processes and circular economy pathways in a life cycle perspective: State of the art of applicative research. *Sustainability*, 13, 1-29. <https://doi.org/10.3390/su13052472>
- VONO, G., FALCONE, G., MISTRETTA, M., FAZARI, A., STRANO, A. (2023). Life Cycle Inventory of the Italian citrus fruit supply chain: Modelling the agricultural phase inventory through statistical data processing. *Cleaner Environmental Systems*, 10, 100131. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100131>
- ZAMPORI, L., PANT, R. (2019). Suggestions for updating the Organisation Environmental Footprint (OEF) method, EUR 29681 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-00651-0, doi:10.2760/577225, JRC115960

Lo sviluppo del mercato della carne sintetica: rassegna sulle potenzialità e sui limiti

Ilenia Bravo

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Ilenia Colamatteo

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Angela Carelli

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Patrizia Papetti

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

Lucio Cappelli

Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale

ABSTRACT

Per contribuire al raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030, la ricerca scientifica è orientata verso fonti alimentari alternative, che siano allo stesso tempo, nutrienti e osservanti delle indicazioni: zero fame, sconfiggere la povertà, lotta al cambiamento climatico, consumo e produzione responsabile.

La produzione zootecnica è considerata particolarmente impattante a causa dell'elevato livello di emissioni di gas serra, del consumo di acqua, dell'uso e del degrado del suolo per il pascolo e per la produzione di mangimi. Per questi motivi, i ricercatori sono diretti verso la produzione di carne sintetica coltivata in vitro, con l'obiettivo di contrastare le questioni etiche, ambientali e di pubblica salute, associate all'allevamento intensivo.

Ci sono però alcuni aspetti da considerare, che riguardano sia gli allevatori e i soggetti terzi coinvolti, che dovrebbero necessariamente adattarsi al nuovo sistema produttivo, che i consumatori, che potrebbero considerare innaturale questa nuova fonte alimentare. Il nuovo sistema di produzione, coinvolgerebbe anche i legislatori, che dovranno attuare adeguati sistemi normativi per valutarne la sicurezza e gestirne i potenziali rischi.

In questa rassegna abbiamo indagato i limiti e le potenzialità associate all'introduzione di carne sintetica sul mercato, analizzando un totale di quaranta articoli internazionali, pubblicati negli ultimi cinque anni su Web of Science, Scopus e Google Scholar.

Dalla nostra analisi emerge che la produzione e il consumo di carne sintetica ha implicazioni sociali, ambientali ed economiche; e le principali sfide includono l'istituzione di una legislazione adeguata, la messa a punto della tecnologia produttiva e l'impatto sul mercato.

PAROLE CHIAVE: carne sintetica, novel food, carne coltivata, food innovative technologies.

1 Introduzione

Con la crescita della popolazione, l'urbanizzazione e l'aumento del reddito nei paesi in via di sviluppo, è necessario un apporto proteico stabile per soddisfare la futura domanda di acquisto. Sebbene le fonti proteiche di origine vegetale siano ampiamente disponibili, la carne animale mantiene la sua popolarità come fonte proteica gustosa e di alta qualità (Arango, et al., 2023).

Ad oggi, una parte significativa della produzione di carne proviene dall'allevamento intensivo di animali, che si traduce in effetti negativi sia sulla salute umana che sull'ambiente (Hansen, et al., 2021).

Si stima che per la produzione zootecnica, vengano utilizzati due terzi dei terreni agricoli e un terzo di tutta la superficie terrestre, con significativi impatti sulla biodiversità e delle risorse naturali. Inoltre, circa il 18% delle emissioni di gas serra, responsabili del cambiamento climatico globale, sono legate alle pratiche agricole (Jeong, et al., 2022). L'allevamento intensivo rappresenta quindi una fonte di preoccupazione anche di carattere etico, poiché l'uso continuo di antibiotici può portare allo sviluppo di fenomeni di resistenza, potenzialmente dannosi per la salute umana (Busch, et al., 2020). Inoltre, è stato stimato che il consumo giornaliero per un individuo adulto, non dovrebbe superare la dose di 100 g di carne rossa e di 200 g di carne bianca a settimana (Al-Shaar, et al., 2019). Pertanto, è necessaria l'introduzione e la ricerca di nuove fonti proteiche e nutritive nella dieta umana.

Diverse sono le campagne condotte a modificare le abitudini alimentari verso diete a base vegetale (ad esempio, tofu, seitan, tempeh, ecc.), soprattutto da quando il consumo eccessivo di carne, soprattutto rossa e lavorata, è stato associato ad un fattore di rischio per la salute umana, legato in particolare, all'insorgenza di malattie cardiovascolari, diabete di tipo 2 e alcuni tipi di cancro (Klöckner, et al., 2022).

Secondo le ultime stime solo circa il 10% della popolazione europea segue una dieta a base vegetale, i cui prodotti però, spesso, hanno una capacità limitata a soddisfare o sostituire la carne, sia come contenuto nutrizionale che come percezioni organolettiche (Liu, et al., 2022).

La carne coltivata, quindi, può rappresentare una valida alternativa per soddisfare le diete vegetariane, vegane e i consumatori che per scetticismo o questioni etiche e religiose, non consumano carni provenienti da fonti animali o non vogliono rinunciare a modificare le loro abitudini alimentari (Munteanu, et al., 2021).

La produzione di carne coltivata in laboratorio (detta anche in vitro, artificiale o sintetica) è stata recentemente proposta come un modo per soddisfare la crescente domanda a livello globale di fabbisogno proteico,

riducendo allo stesso tempo gli impatti sull'ambiente, l'utilizzo delle risorse ed i tempi di allevamento e produzione (Joo, et al., 2022).

Si tratta di una preparazione in cui le cellule staminali vengono prelevate dal tessuto muscolare o dagli embrioni in vivo, espanse in piastra e poi differenziate in cellule muscolari. Successivamente sono inserite all'interno di un bioreattore dove si moltiplicano, per poi essere trasferite in una matrice o impalcatura di supporto, per crescere sottoforma di fibre e tessuto muscolare (Jairath, et al., 2021).

Tuttavia, la produzione di nuovi alimenti implica considerazioni di natura economica, sociale ed etica, oltre che ambientale, e richiede ancora l'ottimizzazione della tecnologia e dei processi produttivi, per renderla accessibile nel mercato e funzionale per il consumatore (Cornelissen and Pi-queras-Fiszman, 2023).

Le prime applicazioni di carne coltivata avevano scopo terapeutico, sia nel settore farmaceutico che tossicologico, ma soprattutto in medicina rigenerativa, per la costruzione di tessuti attraverso proliferazione di una coltura cellulare. Negli ultimi anni, invece, ha suscitato grande interesse da parte di tutta la comunità scientifica, il suo utilizzo come fonte nutritiva (Rombach, et al., 2022).

Nel 2002, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) ha finanziato la ricerca per produrre prodotti commestibili a base di filetti di pesce e tacchino (straccetti) (Guan, et al. 2021). Nel 2005, il governo olandese ha finanziato due progetti di ricerca, iniziando in questo modo ad accelerarne lo sviluppo, e nel 2008 è avvenuta la prima pubblicazione scientifica (Treick, 2021; Chriki e Hocquette, 2020; Stephens, et al., 2018).

Nel 2013, Post (2014), ha realizzato il primo "hamburger" di manzo sintetico, composto da oltre 10.000 fibre muscolari al costo di circa 330.000 dollari. Nonostante i costi di produzione siano stati elevati, il successo di questa tecnologia innovativa, ha suscitato grande attenzione da parte della comunità scientifica e imprenditoriale.

Attualmente le ricerche e lo sviluppo di carne sintetica, sono condotte grazie ad investimenti privati e startup, presenti soprattutto negli Stati Uniti, Europa, Israele e Asia (Rubio, et al., 2020; Cameron, et al., 2019). La Singapore Food Agency è la prima Autorità Nazionale che nel 2020, ha approvato la vendita e il consumo di carne di pollo coltivata, in forma di nuggets e filetti, prodotti dalla compagnia americana Eat Just (Tan and Tay, 2021).

A livello europeo, il regolamento 2015/2283, entrato in vigore dal 1° Gennaio 2018, disciplina la commercializzazione dei nuovi prodotti alimentari, secondo le linee guida da parte dell'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA, 2021).

Tra gli Stati membri dell'UE, la Germania è uno dei mercati più

importanti per la distribuzione di carne coltivata; l'azienda tedesca Wiesenhof è in collaborazione con la start-up israeliana Super Meat, per la produzione di prodotti a base di carne artificiale.

Secondo Bryant, et al. (2020), infatti, l'accettazione è significativamente più alta tra i lavoratori del settore agricolo tradizionale, che indicano una preferenza verso fonti proteiche alternative; mentre i consumatori sono più aperti al suo acquisto, rispetto a quelli di altri paesi, come ad esempio la Francia. Il governo tedesco prevede che la carne coltivata sarà commerciabile entro i prossimi 10-20 anni (Dupont, et al., 2022).

In generale, sebbene le carni coltivate non siano ancora del tutto disponibili sul mercato europeo, alcune aziende mirano ad introdurre tali prodotti nel prossimo futuro.

Il mercato della carne sintetica è stato valutato a 118,8 milioni di dollari nel 2020 e si prevede che crescerà del 14,9%, per raggiungere 352,4 milioni di dollari entro il 2028 (Francecovich, et al., 2021).

Per il raggiungimento di questi obiettivi, vi sono però diversi aspetti da considerare: gli attuali metodi di produzione non sono eco-sostenibili a soddisfare il previsto aumento della domanda, inoltre le tecnologie di produzione necessitano di ulteriori sviluppi per renderla facilmente accessibile. Inoltre, è interessante notare che l'energia utilizzata per la produzione della carne coltivata potrebbe essere più elevata, a causa della sostituzione di alcune funzioni biologiche naturali con i processi tecnologici. Affinché gli effetti potenziali si trasformino in risultati, è necessaria una comprensione realistica della tecnologia coinvolta e sono necessari ulteriori studi sperimentali (Boereboom, et al., 2022).

Questo studio propone una revisione interdisciplinare focalizzata sui potenziali benefici e i rischi associati alla produzione e al consumo di carne coltivata.

Dalla recente letteratura sono stati analizzati 40 articoli, selezionati attraverso determinati criteri e specifiche parole chiavi. Il presente lavoro metterà in risalto diversi aspetti della produzione di carne coltivata, comprese le seguenti questioni: il confronto tra tecnologie produttive, vantaggi e svantaggi derivanti dal suo consumo, e le implicazioni sociali, ambientali ed economiche.

2 Metodologia

L'obiettivo di questo studio riguarda l'analisi degli aspetti associati alla produzione di carne coltivata, un nuovo alimento che negli ultimi anni ha riscosso grande attenzione per risolvere le problematiche legate alla produzione di carne convenzionale.

Pertanto, è stata condotta un'analisi della recente letteratura attraverso la raccolta e la selezione di articoli che affrontassero la tematica oggetto di studio, e una valutazione degli aspetti che incidono sulla carne sintetica (Snyder, 2019; Durach, et al., 2017).

Sono stati selezionati articoli scientifici, documenti, report e review pubblicati negli ultimi sei anni, consultando database quali Web of Science, Scopus e Google Scholar, selezionando gli articoli attraverso una combinazione di parole chiavi in lingua inglese: (“cultured meat” OR “synthetic meat”) AND (“production” OR “consumer acceptance” OR “novel food”). Sono stati così ottenuti quaranta articoli, analizzati poi in modo approfondito e suddivisi secondo i seguenti criteri: anno di pubblicazione, rivista, affiliazione del primo autore, scopo geografico e principale aspetto trattato (Tab.1). Inoltre, durante l'analisi della letteratura, sono stati individuati ulteriori 12 articoli, che hanno permesso di trarre delle informazioni di confronto.

Database	Identificazione	Screening	
	Totale	Anno	Rilevanza
Scopus	104	96	40
Web of Science	33	31	
Google Scholar	selezionati per anno		12
	aggiuntivi		10

Tabella 1 – Riassunto del processo di esclusione/inclusione

Nei prossimi paragrafi, verranno presentati gli aspetti principali individuati, ovvero la prospettiva legata ai materiali e alle tecnologie produttive e quella legata agli impatti ambientali, economici e sociali.

2.1 Processi produttivi, Tecnologie e Materiali

Il processo di produzione della carne coltivata, comprende una serie di passaggi, suddivisi sinteticamente in quattro fasi principali: (1) selezione e prelievo della linea cellulare staminale idonea, (2) espansione su terreno di coltura, (3) differenziazione in miofibre, adipociti o altri tipi di cellule mature nei tessuti muscolari e (4) assemblaggio e trasformazione alimentare in prodotti edibili finali (Guan, et al., 2021). Le cellule staminali sono in grado di auto rinnovamento e differenziazione multipla a generare fibre muscolari, grasso o altri tipi di cellule che compongono il tessuto muscolare; vengono isolate da una biopsia animale, tramite digestione enzimatica e

poi purificate tramite specifici marcatori di superficie (Balasubramanian et al., 2021). Sebbene per produrre carne coltivata possano essere utilizzate varie fonti cellulari, ogni tipo di cellula necessita di una specifica strategia di espansione e differenziazione *ex vivo* in base alle caratteristiche di crescita e ai tempi di sviluppo (Fish, et al., 2020; Zhang, et al., 2020; Stephens et al., 2018). Esistono due categorie di cellule staminali: cellule staminali embrionali e cellule staminali adulte. Le embrionali derivano da una blastocisti e sono pluripotenti; hanno la capacità di rinnovamento illimitato e di differenziazione nelle cellule corrispondenti ai tre strati germinali somatici che formano un organismo (mesoderma, ectoderma ed endoderma) (Rodríguez Escobar, et al., 2021).

Le cellule staminali adulte, invece, sono cellule multipotenti e possono differenziarsi solo in tipi cellulari specifici corrispondenti allo strato germinale da cui hanno avuto origine. Queste cellule possono essere isolate direttamente da diversi tessuti adulti (Fish, et al., 2020).

Le cellule staminali mesenchimali sono cellule staminali adulte, presenti nella maggior parte dei tessuti e principali responsabili della loro riparazione; sono in grado di differenziarsi in fibroblasti, adipociti, osteoblasti, condrociti o miociti, tanto da essere considerate un'opzione cellulare promettente per la produzione di carne in coltura.

Un tipo di cellule utilizzate nella ricerca in corso per produrre carne coltivata, sono le cellule staminali muscolari, chiamate anche cellule satellite. Si trovano nel muscolo scheletrico adulto, sono facili da raccogliere e sono in grado di differenziarsi in miotubi (Klößner, et al., 2022). Le cellule così selezionate, sono indotte a proliferare, prima su scala di laboratorio (piastre) e successivamente su larga scala, all'interno di bioreattori, in un ambiente stabile, controllato e che garantisca l'interazione cellulare (Post, et al., 2020).

La scelta e la progettazione della configurazione reattoristica, dovranno seguire determinati requisiti in quanto il prodotto finale (che si tratti di carne lavorata o tagliata intera, di una polvere proteica secca o di biomassa cellulare umida) sarà influenzato dalle condizioni di impianto. I requisiti sono la miscelazione dei nutrienti, lo scambio gassoso e controllo del flusso dei metaboliti in ingresso e uscita (Guan, et al., 2021).

Per essere economicamente sostenibile, il processo dovrebbe utilizzare un terreno di crescita facilmente disponibile, privo di siero, e monitorare i vari parametri vitali, come pH, O₂ e CO₂ disciolti, e concentrazione di nutrienti essenziali (Allan, et al., 2019). Allo stesso tempo, per efficientare il processo, tutelare le risorse e mantenere bassi i costi di produzione, è importante sfruttare il ricircolo dei nutrienti, del mezzo colturale e la rimozione dei rifiuti tossici (Guan, et al., 2021). Raggiunto il numero desiderato di cellule, esse vengono indotte a differenziarsi in miotubi, adipociti o altri

tipi di cellule mature presenti nel tessuto muscolare. Il livello di maturità finale è un importante indice di valutazione, perché la struttura, le caratteristiche e il contenuto di nutrienti, tra cui proteine, acidi grassi e vitamine, ne sono significativamente influenzati (Liu, et al., 2022). Infine, le cellule mature vengono raccolte e trattate, per formare un prodotto simil-convenzionale, che sia strutturato e marmorizzato, e soprattutto appetibile sotto un profilo estetico (Zhao, et al., 2019). Poiché l'approccio convenzionale alla coltura cellulare può formare solo uno strato sottile bidimensionale, è necessario un supporto di sostegno per la deposizione del materiale e l'aggregazione delle cellule in miofibrille, adipociti e cellule connettivali, per ottenere un prodotto stabile e conforme all'originale (Stephens et al., 2018). La struttura tridimensionale viene ottenuta attraverso l'adesione di cellule a opportune impalcature di sostegno o "scaffold", che possono essere commestibili, biodegradabili o venire rimossi alla fine del processo.

Essi possono essere costituiti da materiali diversi (Cellulosa, Alginate, PHA, Acido polilattico, Elastina e Cheratina, ecc.), secondo le disponibilità ed i prodotti desiderati (Post, 2020; Tuomisto, 2019).

Costituiscono una rete di supporto, permettono il flusso costante di nutrienti e ossigeno, e aiutano a mantenere le principali funzioni metaboliche cellulari. Le caratteristiche idonee comprendono un'area superficiale relativamente ampia per l'adesione e la crescita cellulare, proprietà flessibili di contrazione e rilassamento e una buona affinità e compatibilità cellulare. Il tipo di materiale scelto come impalcatura, infatti, influenzerà non solo il costo del processo, ma anche l'efficienza, la fluidodinamica e il trasferimento di massa all'interno dell'impianto (da Gama Ferreira, et al., 2023; Handral, et al., 2022; Djisalov, et al., 2021). Attualmente una delle tecnologie utilizzate per la produzione di carne sintetica si avvale delle stampanti 3D, attraverso bioprinting di colture cellulari. La biostampa 3D è ampiamente utilizzata nel settore biomedico, per lo sviluppo di organi e tessuti, come ossa e tessuti molli. Con l'uso di materiali e inchiostri biocompatibili, è possibile formare una struttura tridimensionale e costruire un tessuto su larga scala. Al termine del bioprocesso, le cellule vengono raccolte e subiscono trattamenti di modellazione, colorazione e condimento, per formare prodotti finali edibili, mediante l'aggiunta e l'integrazione di ulteriori ingredienti per migliorarne ed esaltarne la qualità (Guan, et al., 2021).

Le possibili problematiche sono legate alla scelta della linea cellulare, il mantenimento della stabilità, che richiede continua raccolta di materiale, tumorigenicità e la necessità di impostare le corrette condizioni di trans-differenziazione (Jeong, et al., 2022).

Il mezzo di crescita sembra essere l'aspetto critico, in termini di costi e bilanciamento degli elementi nutritivi (Post, et al., 2020). Il terreno di coltura deve promuovere un'efficiente proliferazione e differenziazione

delle cellule, ma dovrebbero essere presi in considerazione anche i costi e la sicurezza alimentare (Hong, et al., 2021). Una sfida è la sostituzione di siero bovino fetale (FBS) dal terreno di coltura, un integratore importante a favorire la crescita, perché ricco di ormoni, aminoacidi, proteine, vitamine, inorganici sali e anticorpi, ma con un costo elevato e con il rischio di contaminazione (Manukyan, et al., 2020). L'FBS è ottenuto dal feto di mucche gravide e più di due milioni di feti bovini vengono utilizzati in tutto il mondo per produrre circa 800.000 litri di FBS, sollevando numerose questioni etiche (Chelladurai, et al., 2021; Post, et al., 2020).

Inoltre, i sistemi di allevamento sono rigorosamente controllati, ed in paesi come la Korea, dove gli animali gravidi non possono essere macellati, per cui ai ricercatori non è consentito ottenere FBS (Lee, et al., 2022). Lo sviluppo di un terreno privo di siero e di altri componenti animali (l'albumina, la transferrina, ecc), è fondamentale per garantire la massima sicurezza, sostenibilità, controllabilità e accuratezza del processo di coltura cellulare. Ad oggi, alcuni additivi e terreni privi di siero sono disponibili in commercio che funzionano bene per supportare la crescita *ex vivo* e il mantenimento della stabilità di vari tipi di cellule (Siddiqui, et al., 2022).

Uno dei limiti riguarda la riproduzione del colore naturale o della consistenza, dovuti ai processi di maturazione *in vivo* della carne convenzionale, costituita cioè da una rete di membrane e filamenti (Stephens, et al., 2018).

Pertanto, le tecniche di carne coltivata sono ancora oggetto di approfondimento per riprodurre la diversità e la compattezza dei vari prodotti carnei (Chriki and Hocquette, 2020).

La composizione aminoacidica della carne è importante perché determina non solo la qualità nutrizionale ma soprattutto le sensazioni gustative. È noto che gli aminoacidi siano responsabili di sensazioni olfatto-gustative e una combinazione di acidità, dolce, salato, amaro e umami (Joo, et al., 2021). In particolar modo gli ultimi due sensi, conferiscono alla carne rossa il caratteristico gusto, non ancora riproducibile nella carne coltivata.

Probabilmente, il controllo della composizione del mezzo di coltura per favorire la differenziazione in fibre muscolari, l'integrazione con additivi o l'applicazione di una stimolazione elettrica, aiuterebbe a migliorare il gusto della carne coltivata.

Un altro aspetto da considerare riguarda lo scale-up e il costo produttivo. Se l'ambiente locale nel bioreattore è inappropriato, può causare una differenziazione precoce delle cellule o l'apoptosi, mentre un'agitazione elevata del mezzo, non garantirebbe l'uniformità delle condizioni e potrebbe generare uno stress che supera la capacità di resistenza cellulare (Allan, et al., 2019).

2.2 La percezione del consumatore

Come molti *novel foods*, l'introduzione della carne coltivata sul mercato, è subordinata all'accettazione da parte del consumatore. Negli ultimi anni sono state effettuate ricerche approfondite sulle variabili e i fattori che incidono sulla disponibilità al consumo (Liu, et al., 2022; Bryant e Barnett, 2020; Siegrist and Hartmann, 2020).

Questi studi suggeriscono che le caratteristiche della carne coltivata rispetto a quella convenzionale, i fattori demografici e psicologici, come la neofobia alimentare, e le abitudini alimentari, influenzano direttamente la propensione all'acquisto (Gómez-Luciano, et al., 2019; Siegrist and Hartmann, 2020).

Inoltre, l'interculturalità, l'età inferiore, il grado di istruzione, in alcuni casi l'affiliazione politica, lo stile di vita, le convinzioni ambientaliste e un reddito più elevato, sono predittori positivi della disponibilità a provare la carne sintetica. La disponibilità al consumo è il risultato di una serie di fattori, tra cui la naturalezza, la sicurezza e la bontà, la salubrità, la sostenibilità e il rispetto degli animali (Cornelissen and Piqueras-Fiszman, 2023).

La carne coltivata, solleva numerosi dibattiti dal punto di vista etico, filosofico, culturale e religioso; e questioni relative alla definizione dello status (normativo e legale) e l'accettabilità come alternativa a quella tradizionale animale (Dupont, et al., 2022).

Tra le preoccupazioni, emergono delle perplessità riguardanti la moralità della produzione della carne sintetica, la sicurezza igienico-sanitaria, il costo, aspetto sensoriale, ed infine la confusione legata alla mancanza di conoscenze tecnico-scientifiche, e ai possibili effetti collaterali a lungo termine sulla salute umana. Shaw e Mac Con Iomaire (2019), hanno dimostrato che la percezione del pubblico riguardo la "naturalezza" di un prodotto, è legata al processo che il prodotto subisce, piuttosto che al contenuto del prodotto stesso.

Una barriera significativa all'adozione della carne coltivata come alimento, è la percezione come potenziale fonte di rischio (Arango, et al., 2023). Le questioni legate alla sicurezza alimentare, sono significativamente più persuasive, di quelle che si concentrano sugli animali o sull'ambiente (Bryant, 2020).

Bryant e Barnett (2018), hanno trovato risposte contrastanti nell'accettazione della carne coltivata da parte dei consumatori: la familiarità e le informazioni dei benefici per l'ambiente e la salute, sono motivo di propensione all'acquisto.

La conoscenza del nuovo prodotto tende ad essere significativa nell'accettazione della carne sintetica, infatti, una volta che tali alimenti sono disponibili sul mercato e i consumatori si adattano ad essi, l'accettazione può aumentare (Kloekner, et al., 2022). Comprendere i fattori che

influenzano la volontà a provare la carne sintetica, sarà determinante al successo di questa innovazione alimentare, che a lungo termine, dipenderà in gran parte dal prezzo e dal gusto.

3 Risultati e Discussione

La ricerca pone in evidenza che la carne coltivata è un'innovazione alimentare emergente, che promette di essere un'alternativa comparabile alla carne convenzionale, contribuendo ad adottare sistemi alimentari e modelli di consumo più sostenibili.

Dagli articoli selezionati, in riferimento all'anno di pubblicazione, la maggior parte si concentra negli anni 2021 e 2022, rispettivamente 11 e 12 articoli, mentre 6 articoli sono riferiti all'anno in corso, dimostrando che l'interesse su questo prodotto alimentare è in crescita. Le riviste che affrontano l'argomento sono *Foods* (5 contributi) e *Frontiers In Nutrition* (4 contributi), poi seguono *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *Future Food* e *Food Science and of Animal Resources* (ciascuna 3 contributi). Gli altri articoli sono pubblicati in riviste diverse, dimostrando la trasversalità della tematica. Il Paese con il maggior numero di ricerche è il Regno Unito (9 articoli) e la Korea (5 articoli), seguono Germania, Australia e Cina (ciascuna con 3 articoli).

I restanti 17 articoli sono stati pubblicati da autori provenienti da Paesi diversi. Per quanto riguarda l'ambito geografico di studio, la maggior parte dei Paesi affrontano una trattazione di tipo generale.

Circa la metà si concentra su un territorio circoscritto utilizzando questionari somministrati a consumatori per la raccolta di dati. Gli studi si concentrano principalmente sulle tecnologie produttive e sulla predisposizione a consumare carne coltivata, mentre le questioni relative alla sua commercializzazione, sicurezza e qualità, sono ancora oggetto di approfondimenti (Tab.2).

Nonostante le sue potenzialità, in termini salutistici ed ambientali, la generazione di una serie di dibattiti sui suoi potenziali effetti, suggeriscono che l'accettazione della carne coltivata da parte dei consumatori, non è garantita (Bryant, 2020).

Impatti Ambientali	Lynch, et al. 2019 - Treich, 2021 - Tuomisto, 2018 - Escobar et al. 2021
Produzione, Bioprocesso, Tecnologie	Jeong, et al. 2022 - Munteanu, et al. 2021 - Hong, et al. 2021 - Ye, et al. 2022 - Siddiqui, et al. 2022 - Chriki, et al. 2020 - Treich, 2021 - Selle, et al. 2020 - Tuomisto, 2018 - Balasubramanian, et al. 2021 - Post, et al. 2020 - Newton, et al. 2021 - Siegrist, et al. 2023 - Behera, et al. 2023 - Kloechner, et al. 2022 - Lee, et al. 2022 - Joo, et al. 2021 - Rodriguez Escobar, et al. 2021
Consumatore, Commercializzazione	Boereboom, et al. 2022 - Rabl, et al. 2021 - Shaw, et al. 2019 - Cornelissen, et al. 2022 - Arango, et al. 2023 - Ye, et al. 2022 - Rombach, et al. 2022 - Bryant, et al. 2020, 2019 - Francekovic, et al. 2021 - Ho, et al. 2023 - Siddiqui, et al. 2022 - Bogueva, et al. 2020 - Faletar, et al. 2022 - Chriki, et al. 2020 - Lynch, et al. 2019 - Post, et al. 2020 - Newton, et al. 2021 - Matsouka, et al. 2023 - Hansen, et al. 2021 - Amato, et al. 2023 - Liu, et al. 2022 - Dupont, et al. 2022 - Boereboom, et al. 2022 - Guan, et al. 2021

Tabella 2 – Aspetti relativi alla produzione della carne coltivata

I risultati evidenziano che la predisposizione all'acquisto da parte del consumatore, può essere aumentata con informazioni positive, legate soprattutto alle tecnologie di produzione ed evidenziando il mancato utilizzo di antibiotici, aspetto che si è mostrato potenzialmente persuasivo sull'acquisto della carne coltivata.

Zhang, et al. (2020), hanno valutato la disponibilità dei consumatori a pagare per un prodotto a base di carne coltivata, prima e dopo aver fornito loro specifiche informazioni. Se inizialmente molti di essi si proclamavano contrari o neutrali, in seguito, la percentuale dei contrari è scesa e la maggior parte degli intervistati era disposta ad assaggiare o addirittura ad acquistare carne coltivata.

Anche Rolland, et al. (2020), hanno evidenziato come l'effetto delle informazioni positive, influenzano la disponibilità a degustare il prodotto. Dopo l'assaggio oltre la metà degli intervistati era disposto ad acquistare il nuovo prodotto e a pagare un premium price superiore rispetto al prezzo della carne tradizionale.

I consumatori associano al consumo di carne sintetica i benefici relativi al benessere animale e all'ambiente (come la riduzione delle emissioni di gas serra, la riduzione dell'utilizzo dei terreni agricoli e l'inquinamento) oltre che quelli attinenti alla salute umana e alla sicurezza alimentare, principale fonte di preoccupazione (Shaw e Mac Con Iomaire, 2019). Si presume anche che il consumo di carne coltivata possa essere più sano della carne con-

venzionale grazie al suo minor contenuto di grassi e alla possibilità di aggiungere nutrienti ai prodotti a base di carne coltivata (Dupont, et al., 2022).

Francovich, et al. (2021), hanno condotto uno studio in Croazia, Grecia e Spagna per analizzare ciò che i potenziali consumatori associano alla carne coltivata. I risultati hanno mostrato che quasi la metà degli intervistati considerano il novel food, più rispettoso dell'ambiente, rispettoso degli animali e più sano.

È interessante notare la maggiore predisposizione al consumo, da parte di coloro che basano la propria alimentazione su un modello tradizionale e consolidato, come quello della dieta mediterranea.

I consumatori appartenenti ad aree urbane sono più ricettivi nei confronti della carne coltivata e più preoccupati nei confronti dell'impatto ambientale delle attuali pratiche di zootecnia.

I consumatori che risiedono in zone rurali, invece, sono maggiormente preoccupati del possibile effetto dannoso che la produzione di carne coltivata potrebbe avere sull'occupazione agricola (Siegrist, et al., 2018).

Wilks, et al. (2019), hanno scoperto che i consumatori con una generale avversione verso i nuovi alimenti, e con una generale diffidenza nei confronti dei nuovi prodotti hanno mostrato meno predisposizione ad assaggiare carne coltivata (Kloeckner, et al. 2022).

La neofobia, infatti, così come il tasso di sviluppo e di ricchezza di un Paese, incidono sulle abitudini alimentari.

Gómez-Luciano, et al. (2019), hanno confrontato l'accettazione dei consumatori nel Regno Unito (U.K.), rispetto ai consumatori in Spagna, Brasile e Repubblica Dominicana. I risultati mostrano che i consumatori che provengono dai paesi economicamente più ricchi e sviluppati sono generalmente più predisposti a sostituire la carne tradizionale con un'alternativa.

Al contrario, Bryant et al. (2019), sostengono che, i consumatori Americani, sono meno predisposti ad accettare la carne sintetica, rispetto ai consumatori indiani e cinesi.

Infine, il sesso, l'età e le abitudini alimentari sono indicatori fondamentali nel determinare la predisposizione al consumo.

Sembra infatti, che gli uomini, le persone più istruite, i giovani, e le consuete abitudini al consumo di carne, siano maggiormente aperti ad accettare proteine coltivate, rispetto alle donne, agli anziani e a coloro che seguono regimi alimentari vegetariani o vegani (Francekovic, et al., 2021; Zhang, et al., 2020; Bryant et al., 2019).

4 Conclusioni

In questo studio abbiamo considerato gli aspetti relativi alle tecno-

logie impiegate, alla percezione da parte del consumatore e alle prospettive di mercato della carne sintetica.

L'industria della produzione di bestiame e dell'allevamento convenzionale, è considerata estremamente impattante sull'ambiente; mentre la carne coltivata, se prodotta su larga scala, ridurrebbe sia l'impronta ambientale che il rischio di malattie zoonotiche, fornendo al contempo un prodotto ricco di nutrienti.

Sebbene sia generalmente destinata ai consumatori di carne, potrebbe attrarre alcuni individui di tendenza vegetariana, che associano la loro abitudine ad un senso di rispetto e compassione nei confronti degli animali. Per essere economicamente vantaggioso e orientato alla produzione su larga scala, è fondamentale agire su tutto il processo, dalla selezione delle cellule e ottimizzazione del mezzo, all'utilizzo di biomateriali. Infatti, il ruolo della biostampa 3D nella costruzione degli analoghi della carne, consente di ottenere un elevato profilo nutrizionale e valori sensoriali migliori. L'integrazione dei nanosensori nel bioprocesso, ha facilitato l'intera valutazione della qualità della filiera e la corretta gestione alimentare.

Sebbene i risultati di sviluppo e finanziamento di alcune startup di carne coltivata siano entusiasmanti, i maggiori ostacoli alla promozione del mercato dei prodotti a base di carne coltivata sono la produzione su larga scala e la valutazione della sicurezza.

Inoltre, l'energia e il consumo necessario per produrre carne coltivata è ancora superiore a quello della carne convenzionale.

Una delle difficoltà è l'impossibilità di riprodurre la diversità delle carni derivanti da varie specie, razze e tagli. Allo stesso modo, il controllo della sua composizione nutrizionale non è ancora chiaro, soprattutto per i micronutrienti e il ferro.

Un'altra delle sfide più importanti per lo sviluppo di prodotti a base di carne coltivata sta nel ridurre i costi di produzione, poiché si ritiene che la tecnologia non sia sufficientemente avanzata per ottenere tale diminuzione per incentivare la commercializzazione.

Nonostante le aziende si siano impegnate per produrre questi prodotti di carne coltivata, non è possibile trovare informazioni specifiche sulla consistenza, sul sapore e sui nutrienti, inclusa la composizione di aminoacidi, proteine, grassi e contenuto di minerali di questo prodotto. Inoltre, non si sono verificati casi di industrializzazione di successo.

Per incentivare l'accettazione e l'acquisto di carne coltivata e lo sviluppo dell'industria di carne sintetica, le strategie di marketing dovrebbero promuovere determinate caratteristiche di qualità del prodotto, che lo distinguono da altre fonti proteiche.

In conclusione, questo paper ha illustrato una panoramica aggiornata su un tema innovativo, attualmente al centro di numerosi dibattiti,

soprattutto per quanto concerne il sostentamento alimentare mondiale. Di fatto, come studio preliminare, necessita di essere esaminato utilizzando una metodologia arricchita con altre parole chiave e focalizzandosi su aspetti più specifici.

Bibliografia

- ALLAN, S.J., DE BANK, P.A., ELLIS, M.J. (2019). Bioprocess design considerations for cultured meat production with a focus on the expansion bioreactor. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 44.
- AL-SHAAR, L., SATIJA, A., WANG, D.D., RIMM, E.B., SMITH-WARNER, S.A., STAMPFER, M.J., WILLETT, W.C. (2020). Red meat intake and risk of coronary heart disease among US men: prospective cohort study. *bmj*, 371.
- AMATO, M., RIVERSO, R., PALMIERI, R., VERNEAU, F., LA BARBERA, F. (2023). Stakeholder Beliefs about Alternative Proteins: A Systematic Review. *Nutrients*, 15(4), 837.
- ARANGO, L., CHAUDHURY, S.H., SEPTIANTO, F. (2023). The role of demand-based scarcity appeals in promoting cultured meat. *Psychology & Marketing*.
- BALASUBRAMANIAN, B., LIU, W., PUSHPARAJ, K., PARK, S. (2021). The epic of in vitro meat production—a fiction into reality. *Foods*, 10(6), 1395.
- BEHERA, R., ADHIKARY, L. (2023). Review on cultured meat: ethical alternative to animal industrial farming. *Food Research*, 7(2), 42-51.
- BOEREBOOM, A., MONGONDRY, P., DE AGUIAR, L.K., URBANO, B., JIANG, Z., DE KONING, W., VRIESEKOOP, F. (2022). Identifying consumer groups and their characteristics based on their willingness to engage with cultured meat: A comparison of four European countries. *Foods*, 11(2), 197.
- BOEREBOOM, A., SHEIKH, M., ISLAM, T., ACHIRIMBI, E., VRIESEKOOP, F. (2022). Brits and British Muslims and their perceptions of cultured meat: How big is their willingness to purchase?. *Food Frontiers*, 3(3), 529-540.
- BOGUEVA, D., MARINOVA, D. (2020). Cultured meat and Australia's generation Z. *Frontiers in Nutrition*, 7, 148.
- BRYANT, C.J. (2020). Culture, meat, and cultured meat. *Journal of animal science*, 98(8), skaa172.
- BRYANT, C., BARNETT, J. (2020). Consumer acceptance of cultured meat: an updated review (2018-2020). *Applied Sciences*, 10(15), 5201.
- BRYANT, C., DILLARD, C. (2019). The impact of framing on acceptance of cultured meat. *Frontiers in Nutrition*, 6, 103.
- BRYANT, C., VAN NEK, L., ROLLAND, N.C. (2020). European markets for cultured meat: A comparison of Germany and France. *Foods*, 9(9), 1152.
- BUSCH, G., KASSAS, B., PALMA, M.A., RISIUS, A. (2020). Perceptions of antibiotic use in livestock farming in Germany, Italy and the United States. *Livestock Science*, 241, 104251.

- CAMERON, B., O'NEILL, S., SPECHT, L., DERBES, E., SZEJDA, K. (2019). State of the industry report: cell-based meat. *Washington DC: the Good Food Institute*.
- CHELLADURAI, K.S., CHRISTYRAJ, J.D.S., RAJAGOPALAN, K., YESUDHASON, B.V., VENKATACHALAM, S., MOHAN, M., CHRISTYRAJ, J.R.S.S. (2021). Alternative to FBS in animal cell culture-An overview and future perspective. *Heliyon*, 7(8).
- CHRIKI, S., HOCQUETTE, J.F. (2020). The myth of cultured meat: a review. *Frontiers in nutrition*, 7, 7.
- CORNELISSEN, K., PIQUERAS-FISZMAN, B. (2023). Consumers' perception of cultured meat relative to other meat alternatives and meat itself: A segmentation study. *Journal of Food Science*, 88(S1), A91-A105.
- DA GAMA FERREIRA, R., PETRIDES, D. (2023). Cultured (Cultivated) Meat Production Modeling and Evaluation using.
- DJISALOV, M., KNEŽIĆ, T., PODUNAVAC, I., ŽIVOJEVIĆ, K., RADONIC, V., KNEŽEVIĆ, N.Ž., GADJANSKI, I. (2021). Cultivating multidisciplinary: Manufacturing and sensing challenges in cultured meat production. *Biology*, 10(3), 204.
- DUPONT, J., HARMS, T., FIEBELKORN, F. (2022). Acceptance of cultured meat in Germany-Application of an extended theory of planned behaviour. *Foods*, 11(3), 424.
- DURACH, C.F., KEMBRO, J., WIELAND, A., 2017. A new paradigm for systematic literature reviews in supply chain management. *Journal of Supply Chain Management*, 53, 67-85.
- EFSA (2021). Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare. www.efsa.europa.eu
- FALETAR, I., CERJAK, M. (2022). Perception of Cultured Meat as a Basis for Market Segmentation: Empirical Findings from Croatian Study. *Sustainability*, 14(12), 6956.
- FISH, K.D., RUBIO, N.R., STOUT, A.J., YUEN, J.S., KAPLAN, D.L. (2020). Prospects and challenges for cell-cultured fat as a novel food ingredient. *Trends in food science & technology*, 98, 53-67.
- FRANCEKOVIĆ, P., GARCÍA-TORRALBA, L., SAKOULOGEORGA, E., VUČKOVIĆ, T., PEREZ-CUETO, F.J. (2021). How do consumers perceive cultured meat in Croatia, Greece, and Spain?. *Nutrients*, 13(4), 1284.
- GÓMEZ-LUCIANO, C.A., DE AGUIAR, L.K., VRIESEKOP, F., URBANO, B. (2019). Consumers' willingness to purchase three alternatives to meat proteins in the United Kingdom, Spain, Brazil and the Dominican Republic. *Food quality and preference*, 78, 103732.
- GUAN, X., LEI, Q., YAN, Q., LI, X., ZHOU, J., DU, G., CHEN, J. (2021). Trends and ideas in technology, regulation and public acceptance of cultured meat. *Future Foods*, 3, 100032.

- HANDRAL, K.H., HUA TAY, S., WAN CHAN, W., CHOUDHURY, D. (2022). 3D Printing of cultured meat products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(1), 272-281.
- HANSEN, J., SPARLEANU, C., LIANG, Y., BÜCHI, J., BANSAL, S., CARO, M.Á., STAEDTLER, F. (2021). Exploring cultural concepts of meat and future predictions on the timeline of cultured meat. *Future Foods*, 4, 100041.
- HO, S.S., OU, M., VIJAYAN, A.V. (2023). Halal or not? Exploring Muslim perceptions of cultured meat in Singapore. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1127164.
- HONG, T.K., SHIN, D.M., CHOI, J., DO, J.T., HAN, S.G. (2021). Current issues and technical advances in cultured meat production: a review. *Food Science of Animal Resources*, 41(3), 355.
- JAIRATH, G., MAL, G., GOPINATH, D., SINGH, B. (2021). A holistic approach to access the viability of cultured meat: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 700-710.
- JEONG, D., SEO, J.W., LEE, H.G., JUNG, W.K., PARK, Y.H., BAE, H. (2022). Efficient Myogenic/Adipogenic Transdifferentiation of Bovine Fibroblasts in a 3D Bioprinting System for Steak-Type Cultured Meat Production. *Advanced Science*, 9(31), 2202877.
- JOO, S.T., CHOI, J.S., HUR, S.J., KIM, G.D., KIM, C.J., LEE, E.Y., HWANG, Y.H. (2022). A comparative study on the taste characteristics of satellite cell cultured meat derived from chicken and cattle muscles. *Food science of animal resources*, 42(1), 175.
- KLÖCKNER, C.A., ENGEL, L., MORITZ, J., BURTON, R.J., YOUNG, J.F., KIDMOSE, U., RYNNÄNEN, T. (2022). Milk, meat, and fish from the petri dish—which attributes would make cultured proteins (un) attractive and for whom? Results from a Nordic survey. *Frontiers in sustainable food systems*, 6, 847931.
- LEE, S.Y., YUN, S.H., JEONG, J.W., KIM, J.H., KIM, H.W., CHOI, J.S., HUR, S.J. (2022). Review of the current research on fetal bovine serum and the development of cultured meat. *Food Science of Animal Resources*, 42(5), 775.
- LIU, W., HAO, Z., FLORKOWSKI, W.J., WU, L., YANG, Z. (2022). Assuring food security: Consumers' ethical risk perception of meat substitutes. *Agriculture*, 12(5), 671.
- LYNCH, J., PIERREHUMBERT, R. (2019). Climate impacts of cultured meat and beef cattle. *Frontiers in sustainable food systems*, 5.
- MANUKYAN, L., MARINAKI, M.E., MIHRANYAN, A. (2020). Would 20 nm Filtered Fetal Bovine Serum-Supplemented Media Support Growth of CHO and HEK-293 Cells?. *ACS Applied Bio Materials*, 3(12), 8344-8351.

- MATSUOKA, H., UCHIYAMA, Y., WORAITTHINAN, K., KOHSAKA, R. (2023). Does novel food differ in cultural contexts? A comparative analysis of Japanese and Singaporean cultural acceptance through text analysis of mass media. *Current Research in Food Science*, 6, 100436.
- MUNTEANU, C., MIREȘAN, V., RĂDUCU, C., IHUȚ, A., UIUIU, P., POP, D., GROZA, I. (2021). Can cultured meat be an alternative to farm animal production for a sustainable and healthier lifestyle?. *Frontiers in Nutrition*, 8, 749298.
- NEWTON, P., BLAUSTEIN-REJTO, D. (2021). Social and economic opportunities and challenges of plant-based and cultured meat for rural producers in the US. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 624270.
- POST, M.J., LEVENBERG, S., KAPLAN, D.L., GENOVESE, N., FU, J., BRYANT, C.J., MOUTSATSOU, P. (2020). Scientific, sustainability and regulatory challenges of cultured meat. *Nature Food*, 1(7), 403-415.
- POST, M.J. (2014). Cultured beef: medical technology to produce food. *J Sci Food Agric* 94(6):1039-1041
- RABL, V.A., BASSO, F. (2021). When bad becomes worse: Unethical corporate behavior may hamper consumer acceptance of cultured meat. *Sustainability*, 13(12), 6770.
- RODRÍGUEZ ESCOBAR, M.I., CADENA, E., NHU, T.T., COOREMAN-ALGOED, M., DE SMET, S., DEWULF, J. (2021). Analysis of the cultured meat production system in function of its environmental footprint: current status, gaps and recommendations. *Foods*, 10(12), 2941.
- ROLLAND, N.C., MARKUS, C.R., POST, M.J. (2020). The effect of information content on acceptance of cultured meat in a tasting context. *PLoS One*, 15(4), e0231176.
- ROMBACH, M., DEAN, D., VRIESEKOOP, F., DE KONING, W., AGUIAR, L.K., ANDERSON, M., BOEREBOOM, A. (2022). Is cultured meat a promising consumer alternative? Exploring key factors determining consumer's willingness to try, buy and pay a premium for cultured meat. *Appetite*, 179, 106307.
- RUBIO, N.R., XIANG, N., KAPLAN, D.L. (2020). Plant-based and cell-based approaches to meat production. *Nature Communications*, 11(1), 6276.
- SELLE, P.H., DORIGAM, J.C.D.P., LEMME, A., CHRYSAL, P.V., LIU, S. Y. (2020). Synthetic and crystalline amino acids: alternatives to soybean meal in chicken-meat production. *Animals*, 10(4), 729.
- SHAW, E., MAC CON IOMAIRE, M. (2019). A comparative analysis of the attitudes of rural and urban consumers towards cultured meat. *British Food Journal*, 121(8), 1782-1800.

- SIDDIQUI, S.A., BAHMID, N.A., KARIM, I., MEHANY, T., GVOZDENKO, A.A., BLINOV, A. V., LORENZO, J.M. (2022). Cultured meat: Processing, packaging, shelf life, and consumer acceptance. *LWT*, 172, 114192.
- SIEGRIST, M., HARTMANN, C. (2023). Why alternative proteins will not disrupt the meat industry. *Meat Science*, 109223.
- SNYDER, H., 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research* 104, 333-339.
- STEPHENS, N., DI SILVIO, L., DUNSFORD, I., ELLIS, M., GLENCROSS, A., SEXTON, A. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. *Trends in food science & technology*, 78, 155-166.
- TAN, C., TAY, H.Y. (2021). More Cell-Cultured Chicken Products Approved for Sale in Singapore. *Straits Times*.
- TREICH, N. (2021). Cultured meat: Promises and challenges. *Environmental and Resource Economics*, 79(1), 33-61.
- TUOMISTO, H.L. (2019). The eco-friendly burger: could cultured meat improve the environmental sustainability of meat products?. *EMBO reports*, 20(1), e47395.
- WILKS, M., PHILLIPS, C.J., FIELDING, K., HORNSEY, M.J. (2019). Testing potential psychological predictors of attitudes towards cultured meat. *Appetite*, 136, 137-145.
- YE, Y., ZHOU, J., GUAN, X., SUN, X. (2022). Commercialization of cultured meat products: Current status, challenges, and strategic prospects. *Future Foods*, 100177.
- ZHANG, G., ZHAO, X., LI, X., DU, G., ZHOU, J., CHEN, J. (2020). Challenges and possibilities for bio-manufacturing cultured meat. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 443-450.
- ZHANG, G., ZHAO, X., LI, X., SUN, X., ZHOU, J., DU, G., CHEN, J. (2019). Application of cell culture techniques in cultured meat-a review. *Sheng wu Gong Cheng xue bao= Chinese Journal of Biotechnology*, 35(8), 1374-1381.

Improving quality and compliance of fruit juice processing: a case study of a women-led social enterprise in Senegal

Leonardo Borsacchi
University of Florence
Gabriele Feligioni
University of Florence
Camilla Guasti
University of Florence

ABSTRACT

The Senegalese agri-food industry is the second largest in Africa after Côte d'Ivoire, but it is characterized by a pronounced duality between a structured modern sector and a multitude of formal and informal food processing units. The quality of product transformation is still unsatisfactory, and small-scale fruit and vegetable processing enterprises are still fragile and unstable. They lack market information and struggle to develop relevant commercial strategies and policies to position their products sustainably in the market. The local market of processed fruits and vegetables is largely dominated by tomato concentrate, followed by groups of products consisting of fruit juices, syrups, and concentrates. This paper describes action research conducted within the SB-AGROIN project, funded by the Italian cooperation agency. The project supported the creation of social enterprises to develop of the agro-industrial supply chain in the Thiès region with the objective to increase food security and income for local small-scale female producers and their families. The project built a processing unit for fruit juices, syrups, and jams led by a local network of women. Action research was carried out to align its functioning in accordance with hygiene standards and to promote quality procedures complying with local regulations and international good hygiene practices, also with a view to possible export.

KEYWORDS: enterprise, food quality, food hygiene, rural area, action research, cooperation.

1 Introduction

This study took place within the four-year long project “Social business e sviluppo innovativo della filiera agro-industriale nella regione di Thiès

(SB-AGROIN) – AID 011894 implemented by ASeS Agricoltori Solidarietà e Sviluppo and funded by the Italian Agency for Development Cooperation. The project aimed at increasing food security and the income of small farmers in the region of Thiès, Senegal, by improving their production techniques and by developing the agro-industrial chain. To achieve these objectives, the project included, among others, the development of a fruit and vegetable supply chain aimed at increasing the number of processed agricultural products sold on the local market of Thiès. This paper presents the results of an action-research conducted by ARCO, a university action-research centre founded in 2008 at PIN S.c.r.l. (Polo Universitario “Città di Prato”) – University of Florence. Within the framework of the SB-AGROIN project, the creation of social enterprises, with the technical support from ARCO, is envisioned to support the dissemination and utilization of innovative production factors aimed at enhancing agricultural production and contributing to the development of the agro-industrial sector in the Thiès Region. The establishment of these social enterprises is funded through a revolving fund established with a local microfinance institution.

This action-research focused on the social enterprise processing fruits, vegetables, and cereals and managed by a local network of women (RFPT) from Ker Moussa (Thiès, Senegal) and supported by the SB Agroin project. In addition to the entrepreneurial capacity building, ARCO also supported the RFPT in drafting production guidelines. The ensuing action-research aimed to align the RFPT operations with hygiene standards and advance quality procedures in adherence to local regulations and best practices, but also taking into account considerations for potential exports.

The Senegalese agri-food industry, the second largest in Africa after Ivory Coast, exhibits a distinct duality between a structured modern sector and a plethora of formal and informal food processing units. Despite this, product transformation quality remains subpar, particularly among small-scale fruit and vegetable processing enterprises, which grapple with market information deficits and the challenge of devising effective commercial strategies. According to a market analysis carried out within the SB-AGROIN project in 2019, syrups and processed fruit juices were consumed by 92% of households in the target area or Thiès region. Overall, competition was intense in a region with many transformation enterprises (i.e. the ginger juice market faced competition from around a dozen suppliers, with two leading suppliers holding 20% and 13.32% of the market share. The RFPT holds a 6.66% market share). Supplier power, especially for raw materials, fluctuated throughout the year due to seasonal variations in certain products. Customer bargaining power remained weak, with a significant threat from substitute products. The threat of new entrants into the

agro-food sector also remained substantial. Customers considered active ingredient content, hygiene and cleanliness, shelf life, and price as the four most important criteria in their purchasing decisions. The most requested products from the RFPT network of Keur Moussa by customers were ginger, lemon, and hibiscus syrups, as well as ginger, hibiscus, and tamarind juices (SB-AGROIN, 2022).

2 Methodology

Within the project, the first activity of the action-research described in this paper was to assess the compliance with hygiene standards and regulation in the newly built processing unit. Moreover, within a perspective of improvement of the production process, this study secondly describes the introduction of hygiene procedures and best practices in the processing unit.

In order to achieve the above-mentioned objectives, this action-research study has adopted a methodology based on the active involvement of the project beneficiaries. In particular, the activities were carried out before and during a field mission which encompassed: a) Desk-based analysis and existing regulation and standards; b) Meeting with the group of 12 women from the RFPT to discuss their progress, needs, and challenges encountered in their production activities and the establishment of the transformation center; c) Gathering information for the preparation of a hygiene and quality procedures manual for the Keur Moussa transformation unit. The site visit focused first on the assessment of the transformation facility newly constructed thanks to the project support. At the time of the visit, the facility was in its initial stages of setup and furnishing, with operationalization scheduled in the short-term. The site assessment, carried out without the presence of the group of 12 women of RFPT, focused on assessing compliance with hygiene and sanitation requirements. It also aimed to evaluate the premises, arrangement of materials and equipment, and overall conditions. Later, the field visit encompassed the site observation of the complete cycle of two of their characteristic productions (fruit juice production and jam production). Lastly, 2 training days on food hygiene and good practices were carried out. The training was tailored to existing procedures and conducted in the facility's areas for direct demonstrations.

The mandatory application of Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) at a global level is increasingly recognized as essential for ensuring food safety and preventing foodborne illnesses. HACCP is a systematic approach to identifying, evaluating, and controlling food safety hazards throughout the entire food supply chain. It provides a structured framework for risk assessment, making it a crucial tool in reducing foodborne

outbreaks and enhancing consumer confidence in food products (Boutou, 2008). As global food trade continues to expand, harmonizing HACCP regulations across borders becomes imperative to maintain consistent food safety standards worldwide. Mandatory global adoption of HACCP can help protect public health, promote international trade, and strengthen the overall integrity of the food industry. In general terms, the definition of standardized procedures and the adoption of good manufacturing practices (GMP) support the efficiency of processes, with consequent improvement in the quality and hygiene of production (Borsacchi et al., 2005).

In the considered Senegalese context, the mandatory application of hygiene and quality procedures could refer at the existing national regulation but also at international standards and good manufacturing practices (Ndiaye, 2018). In the conduction of the action-research described in this paper, all the documents prepared (i.e. the check-list for the assessment of the transformation unit, the training material and the Keur Moussa Transformation Unit Quality Manual) took inspiration by the principles of ISO 22000:2005 standard. This international standard offers guidance to agro-food companies on implementing an efficient food safety system. In the implementation of quality, hygiene, and product safety management systems, ISO 22000 can be complemented by other recognized international standards. In line with the proposed model, ISO 22000 can contribute to the implementation of operational and managerial procedures that are valuable for food supplement producers. The ISO 22000 standard suggests adopting “operational prerequisite programs” (PRPs) to effectively manage various levels of food product safety risks within the work environment. PRPs must be established considering the likelihood of hazards entering the work environment and the possibility of cross-contamination related to biological, chemical, and physical risks of the products. These preventive programs should extend to the design and construction of facilities and machinery to minimize product risks. In the implementation of a documented system, the integration with other management system schemes like ISO 9001 and ISO 14001 is suggestable (Pinelli et al., 2018).

3 Results and Discussion

During the site visit to the transformation unit, the women of RFPT simulated a complete cycle of two characteristic productions (fruit juice production and jam production) using mango as raw material for both. The use of compliance checklists for prerequisite programs in production facilities, prepared according to the ISO 22000 standard, allowed for the generation of a detailed report. The observation revealed some pro-

cedural weaknesses. Table 1 reports the main identified issues, categorized as structural (requiring structural, plumbing, or electrical interventions) and production related. The issues follow the internal layout of the transformation unit. For each issue, a proposed solution and a priority level for intervention are provided.

STRUCTURAL ISSUES			
Ref. #	Issue	Proposed solution	Priority
SI.1	Holes in the wall of the corridor leading to the changing rooms and the laboratory allow dirt, dust, and animals to enter, posing a source of biological and physical contamination inside the facility.	Overlay a fine-mesh net that prevents dust and animals from entering the facility while allowing ventilation.	High
SI.2	Lack of ventilation in the bathrooms	Install a metal duct connected to the outside, equipped with a fan to allow air circulation and ventilation.	Medium
SI.3	Absence of lockers inside the changing rooms.	Purchase and installation of lockers to prevent interaction between outdoor clothing and clothing used in production.	Medium
SI.4	Sink with a faucet at the entrance to both the laboratory and production areas. The presence of this type of faucet leads to recontamination of hands after sanitization when closing the faucet.	Replace the faucet with a pedal-operated or long-lever faucet to eliminate contact with dirty surfaces after hand sanitization.	High
SI.5	Presence of glass doors that, if broken, could physically contaminate food products and injure personnel.	Apply plastic film to the glass to prevent glass dispersion in case of breakage.	High
SI.6	Tiled floor inside the production room with gaps between tiles, making effective floor cleaning difficult at the end of the production process.	Purchase and apply floor coating to create a completely smooth surface.	Medium
SI.7	Consider the adoption of insect capture lamps.	Purchase and install insect capture lamps in production and storage areas.	High

SI.8	LED/neon lights in production without protection in case of tube breakage.	Install covers/fittings on lights.	High
SI.9	Dangerous sharp corners on workbenches in the production area, posing safety risks for operators.	Install plastic or silicone corner guards on all workbench corners.	Medium
SI.10	Lack of rounded corners for more effective cleaning of the premises at the end of production, reducing the risk of physical, chemical, and biological contamination.	Install rounded plastic corners on masonry surfaces, as baseboards and wall corners.	High
SI.11	Refrigerator without a thermometer and located in the production area.	Add a thermometer with a thermocouple for temperature reading.	Medium
SI.12	Exterior doors allow dirt, insects, and crawling creatures to enter the facility, leading to physical and biological contamination risks	Install brushes at the bottom of the doors.	High
PRODUCTION ISSUES			
PI.1	The use of wooden ladles poses a risk of cross-contamination. Wood is not allowed in production areas.	Purchase and use stainless steel ladles.	High
PI.2	Chemical products do not have a designated space when not in use, potentially leading to chemical risks or inappropriate use.	Purchase a cabinet for storing chemical products (consider multiple cabinets in different rooms for chemicals used in that room).	High
PI.3	Materials for production placed on the floor, posing a potential physical and biological contamination risk.	It is recommended to place the cabinets at a distance of 50-60 cm from the wall to prevent dirt buildup and the possibility of insects and rodents nesting.	High
PI.4	Food products placed directly on the floor, posing a potential physical and biological contamination risk.	Purchase plastic pallets. It is recommended to place the pallets at a distance	High

Table 1 – Transformation unit assessment: main issues emerged and proposed solutions.

Source: Author's

The assessment of the hygiene conditions of the premises and the

observation of the processing cycles carried out by the women provided input for the definition of operational procedures and good manufacturing practices for the transformation unit. To ensure the effectiveness of an HACCP management system, it is first essential to define and formalize the Prerequisite Programs (PRP). Without a robust implementation of PRPs, the quality controls planned according to HACCP may lose their effectiveness, and the process may not be under control. The mango fruit juice production process is represented in figure 1:

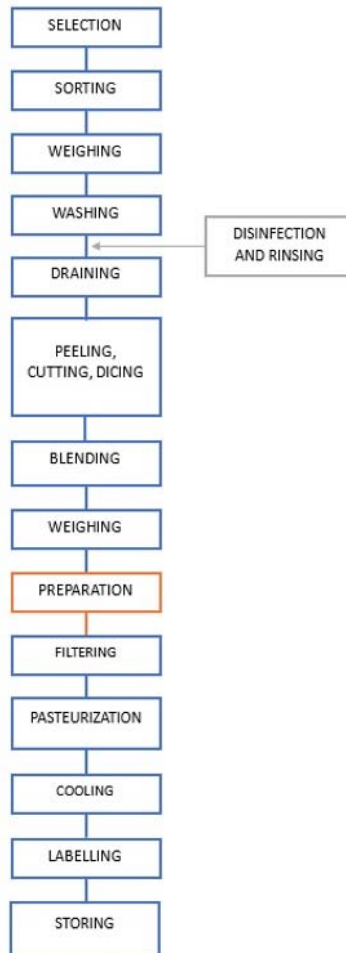


Figure 1 – Production flow diagram of mango nectar

Source: Author's

The definition and implementation of a Keur Moussa Transformation Unit Quality Manual (QM) followed evidence and inputs emerged during the field mission, with accordance to the level of awareness of the women of RFTP.

To enhance the management aspects of the women social enterprise, the action-research for the development of a Quality Management System (QMS) for the cooperative began with the requirements of both HACCP and ISO standards (i.e. ISO 9001 and ISO 22000). Sections and paragraphs of the QM manual, prepared in French and appropriately adapted to the structure of the target cooperative, are therefore:

Keur Moussa Transformation Unit Quality Manual	
0.0	Revision History and Approval
1.0	RFTP Cooperative
2.0	About the Manual
3.0	Terms and Definitions
4.0	Context of the Organization
4.1	Understanding RFTP and Its Context
4.2	Understanding Needs and Expectations of Interested Parties
4.3	Determining the Scope of the HACCP Management System
4.4	HACCP Management System and Processes
5.0	Leadership
5.1	Leadership & Commitment
5.2	Policy
5.3	Organizational Roles Responsibilities and Authorities
6.0	Planning
6.1	Actions to Address Risks and Opportunities
6.2	Quality Objectives and Planning
6.3	Planning of Changes
7.0	Support
7.1	Resources
7.2	Competence
7.3	Awareness
7.4	Communication
7.5	Documented Information
8.0	Operation
8.1	Operational Planning and Control
8.2	Requirements for products and services
8.3	Design and Development of Products and Services
8.4	Control of Provided Processes, Products and Services
8.5	Production and service provision
8.6	Release of products and services
8.7	Control of nonconforming outputs

9.0	Performance Evaluation
9.1	Monitoring, Measurement, Analysis and Evaluation
9.2	Internal Audit
9.3	Management Review
10.0	Improvement
10.1	General
10.2	Nonconformity and corrective action
10.3	Continual improvement
Appendix A:	Overall Process Sequence
Appendix B:	Prerequisite Programs (PRP)

Table 2 – Index of Keur Moussa Transformation Unit Quality Manual

Source: Author's

The list of PRPs included and described in QM is the following: PRP 01 Construction and layout of buildings; PRP 02 Layout of premises and workspace; PRP 03 Utilities – air, water, energy; PRP 04 Waste disposal; PRP 05 Personnel; PRP 06 Equipment suitability, cleaning and maintenance; PRP 07 Management of purchased materials; PRP 08 Measures for prevention of cross-contamination; PRP 09 Personnel hygiene and employee facilities; PRP 10 Cleaning and sanitizing; PRP 11 Pest control; PRP 12 Analysis.

The applied action-research with the women's social enterprise in Keur Moussa enabled the co-construction of a hygiene and quality management system tailored to their transformation unit and production processes, based on specific needs identified. We began with direct observation to highlight strengths and weaknesses in the production process and adopted procedures. The aim was to avoid the replication of actions already undertaken (very frequent in other international cooperation contexts). Moreover, the main emerged weaknesses have been discussed during the training, with the aim to better understand the problem (related to hygiene and quality issues) and to find together a feasible solution. At the same time, all good practices already in place have been highlighted, with future improvements perspectives. At the end, the introduced procedures have been supported by an effective, albeit streamlined, documentation system with descriptive, prescriptive (including procedures and operational instructions), and evidence recording functions. Accompanied by a formal assignment of responsibilities within the organization, the QM will adapt, in a continuous improvement framework, to the level of awareness achieved by the RFPT women.

4 Conclusions

The introduction of a newly designed hygiene and quality manual for the women's cooperative represents a significant step towards fostering more sustainable practices and enhancing their commitment to standardized procedures. The transformation unit in Ker Moussa, though recently constructed, requires further improvements, both structurally and in terms of managerial organization at cooperative level. This includes for the cooperative defining key roles, implementing documentation for production records, formalizing quality procedures and controls, all of which were addressed during the action-research intervention conducted by ARCO as part of the SB-AGROIN project. Looking ahead, the cooperative's future perspectives hinge on the full adoption and implementation of the programs and procedures outlined in the quality manual. Their goal is to expand their market presence and consistently increase production levels. Additional considerations encompass optimizing resource utilization and maintaining quality standards throughout their operations.

Acknowledgement

The authors would like to express their gratitude to ASeS Agricoltori Solidarietà e Sviluppo and the Senegal representative, Giovanna Cantice, for their kind collaboration.

References

- BORSACCHI L., BUZZINI P., ROMANI A. (2005) Il controllo del pericolo *Listeria*: adeguamento del piano HACCP per l'esportazione di panini farciti surgelati in Paesi dell'Estremo Oriente, CISETA – Congresso Italiano di Scienza e Tecnologia degli Alimenti 2005
- BOUTOU O., (2008) Certification ISO 22000, AFNOR
- BRC Global Standard for Food Safety, Issue 8
- EN ISO 9001: 2015 - Quality Management System – Requirements.
- EN ISO 22000:2018 - Food safety management systems - Requirements for any organization in the food chain.
- ISO/Ts 22002-1:2009 Prerequisite programmes on food safety.
- NDIAYE, N.A., CISSÉ, M., BONNE, R., SENE, B., KANE, N.C., MONTET, D. (2018) Application of a facilitating HACCP system using two innovative methods for the production of Hibiscus syrup by a Senegalese small and medium business (SMBs). *International Food Research Journal* 25(1): 376-382
- PINELLI P., BORSACCHI L. (2018). Quality assessment and producers' needs analysis for the sustainable development of date palm cultivation in Jericho. In: 24th International Sustainable Development Research Society Conference. Actions for a sustainable world: from theory to practice., Messina (Italy), 13-15 June 2018, The Organizing Committee of the ISDRS Conference, pp. 639-646, ISBN:978-88-943228-6-6

Improving sustainability in the food supply chain of the healthcare sector: the ISO 22000 and ISO 28000 adoption

Carlotta D'Alessandro

University of Messina

Uwakmfon Promise Offiong

University of Szczecin

Katarzyna Szopik-Depczyńska

University of Szczecin

Giuseppe Ioppolo

University of Messina

ABSTRACT

The climate crisis poses serious threats to human health, and the healthcare sector is a significant contributor to this issue. According to the Healthcare Without Harm report, the supply chain is responsible for 70% of climate pollution related to the healthcare sector. The sustainability of the food supply chain is significantly influenced by food production, distribution, preparation, and consumption. The healthcare food supply chain and the agri-food sector are closely connected and interdependent, through the entire food production and distribution cycle. This study provides an overview of the food supply chain within the healthcare sector. The authors emphasize the imperative of establishing a sustainable food supply chain within the sector, aligned with the ISO standards, to ensure and maintain food quality and safety. To assess the current state of the food supply chain in the healthcare sector, a systematic literature review (SLR) was conducted. The review encompassed the assessment of articles sourced from peer-reviewed journals listed in Scopus and Web of Science. Qualitative analysis was undertaken, to understand food supply chain benefits and challenges. The sustainable management of the food supply chain necessitates a holistic integration of three pillars of sustainability. A solution is the implementation of tailored standards, such as ISO 28000 or ISO 22000, for the preservation of food product integrity and safety throughout the entire supply chain.

KEYWORDS: food supply chain management; sustainability; healthcare sector; ISO standards; literature review.

1 Introduction

The climate crisis is a multifaceted threat to human health, encompassing challenges such as extreme weather events, the proliferation of infectious diseases due to changing climate patterns, and the risk of food and water shortages in vulnerable regions (Berry et al., 2018; FAO, 2015). These issues are a growing concern in the global health community. Certain environmental elements, including variations in temperature, elevated pressure, exposure to radiation, UV sunlight, and excessive moisture levels in the atmosphere, can contribute to the degradation of food quality (Haji et al., 2022).

A critical facet of this crisis centers around the healthcare sector, which is increasingly recognized as a significant contributor to environmental degradation (Eckelman & Sherman, 2016). This recognition highlights a sustainability deficit within healthcare – a shortfall in sustainable practices. Failing to address this deficiency has far-reaching consequences for public health.

The modest presence of sustainable practices within healthcare exacerbates climate-related challenges, leading to extreme weather events, infectious disease outbreaks, and resource scarcity (Duindam, 2022; Sellers et al., 2019). Additionally, it contributes to climate change, further straining resources like clean water, particularly in many regions (FAO, 2015).

Likewise, when delving deeper into the healthcare sector's sustainability challenges, it becomes evident that the crucial issue extends beyond the immediate healthcare facilities themselves. A key component of this larger sustainability picture lies in the healthcare food supply chain. Although the entire supply chain for the healthcare sector is responsible for 70% of the total emissions related to this industry (Health Care Without Harm, 2022), the assessment of the environmental consequences specific to the food supply chain receives little attention. This complex network encompasses activities spanning from identifying customer needs, product selection, supplier negotiations, payment, and storage, to distribution and redistribution (Pinna et al., 2015). Hence, the sustainability of the entire supply chain is greatly affected by how food is produced, processed, transported, and consumed (Rich et al., 2018).

Moreover, there exists a profound interconnection and mutual reliance between the healthcare food supply chain and the agri-food sector, encompassing the entirety of the food production and distribution continuum. Particularly, the term food supply chain is intended for the entire journey of food from production to consumption, whereas the agri-food supply chain focuses specifically on the agricultural sector and the processes associated with growing and handling agricultural products. In this context,

for the research objectives of the study, the term food supply chain is considered more appropriate.

This overlooked topic is in line with the current need for sustainability efforts within the healthcare sector. Indeed, it is required for healthcare institutions to consider sustainability (Molero et al., 2021), adopt environmentally conscious practices, and invest in greener technologies and supply chain management strategies, to reduce waste and their carbon footprints (Jialin et al., 2023). Addressing the healthcare food supply chain's contributions to the climate crisis is not only a moral responsibility but also an essential step toward mitigating the broader negative impacts, yielding benefits in terms of product quality and safety, while safeguarding human health and well-being.

A possible strategic solution identified to deal with these environmental challenges is represented by the voluntary adoption of international standards, such as ISO 22000:2018 and ISO 28000:2022.

ISO 22000 is an international standard, which allows companies to put in place a “food safety management system” (ISO 22000, 2018). Whereas ISO 28000 always represents an international standard, but that determines the requirements for a security management system, inclusively of elements pertinent to the supply chain (ISO 28000, 2022; Ronalter et al., 2023). Implementing in combination these two standards should lead to significant improvement in food quality and safety across all the food life cycle stages, spanning from production to final disposal, effectively handling the challenges posed by the climate crisis. However, how these international standards are adopted and sequentially implemented in this aforementioned context remains unexplored. Therefore, in light of these considerations, the aim of this article is to provide an overview of the current state of the food supply chain within the context of the healthcare sector and then to check the eventual presence of the ISOs and their application.

After this introductory section, Section 2 presents the methodology used, and Section 3 carries out and discusses the results. Finally, Section 4 concludes the paper.

1 Methodology

In this section, it was outlined the methodology employed to investigate the food supply chain within the healthcare sector. The study began with a comprehensive analysis of the food supply chain in the healthcare sector through a systematic literature review (SLR). This approach allows to gather insights from existing research and provide a foundation for our study. To identify relevant sources, a set of keywords and inclusion and

exclusion criteria were developed. Only articles written in English, related to the healthcare sector with a particular focus on its food supply chain were considered. Concerning the document type, reviews articles, Conferences Proceeding, Conference Books, and Book Chapter, with the exception of the grey literature, were included in the sample.

Keywords were applied to the title, abstract, and keywords of publications, using Scopus and Web of Science (WoS).

3 Result and discussion

This section will present the findings and implications of these studies, offering insights into the critical challenges and opportunities for developing a sustainable and resilient healthcare food supply chain. Considering the increasing awareness regarding the necessity to establish a sustainable food supply chain within the healthcare sector, it is worth noting the current scarcity of research in this field.



Figure 1 – Main Challenges Within the Healthcare Sector. Visual representation highlights critical areas of concern. Source: Authors' Compilation

Amidst the myriad challenges confronting our planet–population growth, urbanization, environmental health, and human well-being – a re-

response emerged in 2015 from the United Nations unveiling the Sustainable Development Goals (SDGs). These goals, slated for attainment by 2030, encompass diverse integrated and indivisible targets, such as poverty eradication, health, education, and food security and nutrition, tackling climate change, while balancing a wide range of economic, social, and environmental objectives (Cf, 2015). Central to these ambitions is the role of the food supply chain, the comprehensive network governing food from production through distribution to consumption. An SLR reveals that, until now, the environmental sustainability investigation within the hospital food and nutrition supply chain has predominantly concentrated on consumption phases, particularly with regard to food waste and local food procurement (Carino et al., 2020). The sustainable food supply chain serves as the basis for minimizing environmental and climatic impacts, preserving biodiversity and ecosystems, and ensuring nutrition security for present and future generations (Carino et al., 2020). A notable blueprint for this transformation is the 2019 report from the EAT – Lancet Commission, which outlines targets for promoting both healthy diets and sustainable food systems. The report's strategies are wide-ranging and encompass international commitments to promote healthy diets, shifts in agricultural priorities, sustainable intensification of food production, integrated governance of land and oceans, and the minimization of food loss and waste (Willett et al., 2019).

Meanwhile, other existing studies have predominantly concentrated on responding to key imperatives: waste reduction, and the integration of emerging technologies. In recent years, there has been a growing emphasis on the issue of food waste (Eriksson et al., 2020). Furthermore, during the preparation and processing phases, food waste tends to arise due to various issues, such as production excess to erroneous expectations, rigid portion size, or legislative restrictions, while after consumption waste is due to training among staff as well as imprecisions when assigning the portion size, or concerns related to food safety (Carino et al., 2021). To boot, in order to reduce food waste in hospitals, it is crucial to introduce incitements and control actions for quantifying food waste. While economic motives may suffice to drive the private sector, the public sector may be more inclined to address environmental worries related to food waste. Implementing mandatory quantification and reporting of food waste quantities, along with a standardized protocol for follow-up, could be a valuable step toward achieving sustainability (Eriksson et al., 2020). Additionally, in the pursuit of food waste reduction, several measures warrant consideration: the consciousness of employees and customers of food waste reduction is crucial in the healthcare sector, managers should enhance the information along the supply chain, increasing the passage of information among departments. Implementing customized food catalogs or menus is desirable to meet patients'

needs. Making commands and transfer processes to accommodate new patient admissions and discharges (Strotmann et al., 2017). Likewise, the incorporation of emerging technologies, such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), or Blockchain, into the healthcare food supply chain holds promise for ushering in a new era of efficiency and sustainability. The IoT technology aims to simplify the process of gathering important food products processing and improve data and their utilization for food security (Bader & Jagtap, 2019). By embracing these technologies, healthcare institutions can not only streamline their food supply chain operations from farm to fork; their implementation encompasses farm production, food transformation, packaging, trade, marketing, transport, delivery, retail, consumer feedback, and waste management (Thibaud et al., 2018), leading to efficient resource utilization. As the healthcare sector places an increasing emphasis on sustainability, the integration of Blockchain, AI, and IoT technologies could represent a forward-thinking approach that aligns with the broader mission of addressing climate-related health risks.

In the pursuit of establishing a sustainable food supply chain within healthcare, previous assessments have also highlighted significant obstacles to change. Often, inefficiencies emerge in the path to sustainability; these can be attributed to a range of factors, including conflicting preferences, inadequate pieces of information, insufficient knowledge and inadequacy of education on opportunities, and policy and funding constraints (Carino et al., 2021). In summary, addressing these obstacles in healthcare's pursuit of a sustainable food supply chain is essential for realizing a future where quality and safety converge to guarantee human well-being, economic efficiency, and environmental protection. Nevertheless, it is important to underscore that despite the need and the benefits of pursuing a sustainable food supply chain within healthcare, the literature on this subject remains limited. The existing studies, while valuable, represent a modest fraction of the comprehensive research needed to exhaustively address this critical issue. This endeavor necessitates an approach, encompassing food quality and safety, and waste reduction. As a different approach to tackling the challenges inherent in establishing a sustainable healthcare food supply chain, it is worth considering the voluntary implementation of internationally recognized standards.

ISO 22000 standard contributes to the enactment of a food safety management system, to ensure that the food will not result in any adverse health effects (ISO 22000, 2018). Food safety refers to the existence of potential hazards, possibly emerging at any point along the food supply chain, in food during the consumption phase. The objective is to create food items of necessary quality standards, assuring they are safe to eat but also appealing in terms of taste, color, and texture (Bader & Jagtap, 2019).

However, negative environmental conditions significantly affect the

quality of food products; their presence can trigger enzymatic or chemical processes that result in food denaturation. The outcome of this denaturation often includes the development of a bitter taste, rendering the affected products unsuitable for consumption. Ingesting denatured food products can lead to severe health complications, including foodborne illnesses that may manifest as gastrointestinal tract infections or severe dehydration, potentially culminating in life-threatening consequences (Haji et al., 2022).

Additionally, radiation exposure stands as a notable risk factor for food products; exposure to radiation can bring about alterations in the active components of food, posing a substantial threat to human health when consumed. This effect arises from the disruption of chemical bonds within food constituents, leading to a loss of stability even before the products are employed (Haji et al., 2022).

Thus, it is imperative to maintain the effective supervision of all actions involved in the chain, requiring the collaboration of all stakeholders within the food industry (ISO 22000, 2018). ISO 22000 offers several benefits such as for example the capacity to steadily deliver secure foods, products, and services, while mitigating risks associated with its objectives (ISO 22000, 2018).

However, from the selected articles in the sample, only one has mentioned the ISO 22000 standard, proposing a survey to assess the level of understanding of the food safety management system; specifically, the study has explored the knowledge degrees and adherence to food safety and hygiene standards, specifically Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) and ISO 22000:2018, within the Kingdom of Saudi Arabia (Al-rasheed et al., 2021).

Concurrently, implementing ISO 28000:2022 focuses on the criteria for a security management system, regarding among others, the supply chain (ISO 28000, 2022). It oversees compliance with legal, regulatory, and voluntary commitments endorsed by the organization, ascertaining whether sufficient security actions are considered to proficiently handle security-related hazards (ISO 28000, 2022). Simultaneously, ISO 28000 ensures the harmonization of security procedures and controls, extending to relevant processes, both upstream and downstream within the supply chain, to align with the organization's comprehensive aims (ISO 28000, 2022). By proactively addressing security threats and vulnerabilities in the supply chain, ISO 28000:2022 helps prevent disruptions and losses. This, in turn, reduces the need for emergency measures and resource-intensive recovery efforts, promoting a more sustainable and resilient food supply chain. Hence, incorporating these globally recognized standards could foster security, and resilience within the healthcare food supply chain management, enhancing its long-term viability.

Despite their utilization in various industrial contexts, it's noteworthy that these ISO standards have yet to find widespread implementation within the healthcare sector. A paucity of research exists on their application within the healthcare supply chains. These standards offer a comprehensive and structured framework for healthcare facilities to follow.

The voluntary adoption of ISO 22000:2018 and ISO 28000:2022 aligns with global best practices for food safety management systems and security management systems and could enhance the sustainability of the healthcare food supply chain. This dearth of research highlights both the untapped potential and the difficulty for the healthcare sector to embrace these standards. However, further research and exploration are essential to fully unlock the benefits of these standards within the unique context of healthcare food supply chains. By bridging this knowledge gap and advocating for the voluntary implementation of ISO 22000:2018 and ISO 28000:2022, healthcare facilities can proactively handle the pressing challenges they face and contribute to the broader mission of guaranteeing the safety and quality of food products, while enhancing the security management system, to prevent or abate any negative impacts.

To sum up, in the table below, we categorize the vital points from the research outcome into themes, thereby offering a concise and structured summary of the key findings and implications in the context of improving sustainability in healthcare food supply chains. This classification provides a structured guide to the study's key conclusions and ramifications.

Theme	Description
Sustainable Healthcare Food Supply Chain	The importance of developing a sustainable and resilient healthcare food supply chain. The role of the food supply chain in minimizing climate and environmental impacts, ensuring nutrition security, and preserving biodiversity.
Waste Reduction	Challenges related to food waste in healthcare institutions and identifies determinants contributing to it, including staff training. Food waste quantification, employee and customer awareness, customized menus, adaptive order, and transfer processes to reduce waste.

Emerging Technologies	<p>The possible advantages of integrating innovative technologies like Blockchain, AI, and IoT into the healthcare food supply chain.</p> <p>These innovative technologies can optimize waste management, and improve resource allocation, for food safety.</p>
Barriers to change	<p>Inefficiencies in food processing and preparation stages due to various factors such as overproduction and financial constraints.</p> <p>It's vital to overcome these challenges for a future that combines quality, safety, human well-being, economic efficiency, and environmental protection.</p>
ISO Standards	<p>The potential pros of voluntary implementing ISO 22000:2018 and ISO 28000:2022 standards in healthcare food supply chains.</p> <p>The lack of widespread implementation of these standards in the healthcare sector and the need for further research in this area.</p>

Table 1 – Overview of Key Themes and Study Findings.
Source: Authors' Compilation

4 Conclusion

This study has delved into the pressing need for establishing a sustainable and resilient food supply chain within the healthcare sector, addressing critical issues. The global healthcare sector finds itself at a crossroads, where the pressing challenges posed by the climate crisis intersect with the healthcare supply chain, particularly in the context of food safety, and quality. Too often food in healthcare facilities continues to remain a secondary element in which little is invested. The climate crisis, with its far-reaching implications for human health and environmental stability, demands attention from the healthcare sector. A sustainable food supply chain can lead to reducing environmental and climate effects while guaranteeing nutritional security for current and future generations.

In addition, food waste in healthcare settings arises from various issues, including staff training, and can be mitigated through a variety of measures, such as food waste quantification, employee and customer awareness, customized menus, adaptive order, and transfer processes could be adopted practices. Further, incorporating emerging technologies like AI,

IoT, and Blockchain in the healthcare food supply chain should enhance its efficiency and sustainability, managing waste and improving resource allocation. Emerging technologies encompass a wide spectrum, admitting the supervising of their entire food supply chain. Adverse environmental conditions can lead to food denaturation, resulting in a bitter taste and potential health risks.

However, to ensure food quality, safety and resilience, this study has highlighted the integration of internationally recognized standards such as ISO 22000:2018 and ISO 28000:2022 as a path forward. While these standards have found extensive use in various industrial contexts, their application within the healthcare sector remains limited. The implementation of ISO standards signifies a commitment to ensure food safety management systems, and a security management system, to mitigate any unfavorable impacts and diminish the threat of impacting human health, facilitating the path toward a more sustainable food supply chain within the healthcare sector. However, it is essential to recognize that the journey towards a sustainable healthcare food supply chain is still in its early stages. Although this study has provided valuable insights and highlighted the potential of ISO standards, further research, exploration, and implementation are required to unlock the full spectrum of benefits within the unique context of healthcare food supply chains. Healthcare institutions, researchers, policymakers, and stakeholders should collaborate to bridge the knowledge gap and proactively introduce ISO standards. By doing so, the healthcare sector can address pressing challenges, enhance its resilience, and contribute significantly to the broader mission of establishing a sustainable and secure healthcare food supply chain. By embracing sustainability, and introducing ISO standards, both human health and the planet can be safeguarded for the sake of future generations.

References

- ALRASHEED, A., CONNERTON, P., ALSHAMMARI, G., CONNERTON, I. (2021). Cohort study on the food safety knowledge among food services employees in Saudi Arabia state hospitals. *Journal of King Saud University-Science*, 33(6), 101500. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101500>
- BADER, F., JAGTAP S., 2019. Internet of Things linked wearable devices for managing food safety in the healthcare sector. IN: Dey, N. ... et al (eds). *Wearable and Implantable Medical Devices: Applications and Challenges*. Academic Press, pp.229-253. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815369-7.00010-0>
- BERRY, H.L., WAITE, T.D., DEAR, K.B., CAPON, A.G., MURRAY, V. (2018). The case for systems thinking about climate change and mental health. *Nature climate change*, 8(4), 282-290. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0102-4>
- CARINO S., PORTER J., MALEKPOUR S., COLLINS J. (2020). Environmental Sustainability of Hospital Foodservices across the Food Supply Chain: A Systematic Review. *J Acad Nutr Diet*. doi: 10.1016/j.jand.2020.01.001. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2020.01.001>
- CARINO, S., COLLINS, J., MALEKPOUR, S., PORTER, J. (2021). Environmentally sustainable hospital foodservices: drawing on staff perspectives to guide change. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.08.003>
- CF, O.D.D.S. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations: New York, NY, USA.
- DUINDAM, D. (2022). "Transitioning to Sustainable Healthcare: Decarbonising Healthcare Clinics, a Literature Review" *Challenges* 13, no. 2: 68. <https://doi.org/10.3390/challe13020068>
- ECKELMAN, M.J., SHERMAN, J. (2016). Environmental impacts of the US health care system and effects on public health. *PloS one*, 11(6), e0157014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157014>
- ERIKSSON M., MALEFORS C., BERGSTRÖM P., ERIKSSON E., PERSSON OSOWSKI C. Quantities and Quantification Methodologies of Food Waste in Swedish Hospitals. *Sustainability*. 2020; 12(8):3116. <https://doi.org/10.3390/su12083116>
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). (2015). *Climate change and food security: risks and responses*.
- HAJI, M., KERBACHE, L., AL-ANSARI, T. Food Quality, Drug Safety, and Increasing Public Health Measures in Supply Chain Management. *Processes* 2022, 10, 1715. <https://doi.org/10.3390/pr10091715>.

- HEALTH CARE WITHOUT HARM. (2022). From Commitment to Action. 2022 Annual Report.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (2018), "ISO 22000:2018 - Food safety management systems – A practical guide".
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (2022), "ISO 28000:2022 Security and resilience – Security management systems – Requirements".
- JIALIN LI, MUHAMMAD KHALID ANSER, MOSAB I. TABASH, ABDELMOHSEN A. NASSANI, MOHAMED HAFFAR, KHALID ZAMAN (2023). Technology- and logistics-induced carbon emissions obstructing the green supply chain management agenda: evidence from 101 countries, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 26:7, 788-812. <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1985094>
- MOLERO A., CALABRÒ M., VIGNES M., GOUGET B., GRUSON D. (2021). Sustainability in Healthcare: Perspectives and Reflections Regarding Laboratory Medicine. *Ann Lab Med*. 2021 Mar 1;41(2):139-144. doi: 10.3343/alm.41.2.139. PMID: 33063675; PMCID: PMC7591295. <https://doi.org/10.3343/alm.2021.41.2.139>
- PINNA R., CARRUS P.P., MARRAS F. (2015). Emerging Trends in Healthcare Supply Chain Management – An Italian Experience, Chapters, in: Hakan Tozan & Alper Erturk (ed.), *Applications of Contemporary Management Approaches in Supply Chains*, IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/59748>
- RICH, N., MANGLA, S.K., LUTHRA, S., KUMAR, D., RANA, N., DWIVEDI, Y. (2018). Enablers to implement sustainable initiatives in agri-food supply chains. *International Journal of Production Economics*, 203, pp. 379-393. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.012>
- RONALTER, L.M., POLTRONIERI, C.F., GEROLAMO, M.C. (2023), "ISO management system standards in the light of corporate sustainability: a bibliometric analysis", *The TQM Journal*, Vol. 35 No. 9, pp. 256-298. <https://doi.org/10.1108/TQM-09-2022-0279>
- SELLERS, S., EBI, K.L., HESS, J. (2019). Climate Change, Human Health, and Social Stability: Addressing Interlinkages. *Environ Health Perspect*. Apr;127(4):45002. doi: 10.1289/EHP4534. PMID: 30986089; PMCID: PMC6785235. <https://doi.org/10.1289/EHP4534>
- STROTMANN, C., FRIEDRICH, S., KREYENSCHMIDT, J., TEITSCHIED, P., RITTER, G. Comparing Food Provided and Wasted before and after Implementing Measures against Food Waste in Three Healthcare Food Service Facilities. *Sustainability*. 2017; 9(8):1409. <https://doi.org/10.3390/su9081409>

- THIBAUD, M., CHI, H., ZHOU, W., PIRAMUTHU, S. (2018). Internet of Things (IoT) in high-risk Environment, Health and Safety (EHS) industries: A comprehensive review. *Decision Support Systems*, 108, 79-95. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.02.005>
- WILLETT, W., ROCKSTRÖM, J., LOKEN, B., SPRINGMANN, M., LANG, T., VERMEULEN, S., MURRAY, C.J. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The lancet*, 393(10170), 447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)

Migliorare lo sviluppo locale nelle aree montane marginali attraverso i prodotti alimentari tipici. Il caso del Bettelmatt nelle alpi italiane nord-occidentali

Alessandro Bonadonna
Università di Torino
Stefano Duglio
Università di Torino

ABSTRACT

Le aree montane italiane sono state caratterizzate da un forte fenomeno migratorio che ha interessato tutto il '900. Fra esse si annoverano anche le Valli Antigorio e Formazza (nord-est del Piemonte) che hanno conosciuto un trend di spopolamento piuttosto marcato. Per contro, negli ultimi decenni si è assistito a una crescita dei flussi turistici, soprattutto per scopi naturalistici e all'outdoor, che ha generato nuove entrate per la comunità locale. Parallelamente, il territorio si è caratterizzato per una produzione lattiero-casearia originariamente legata alla tradizione Walser, antico popolo di lingua germanica insediatosi nel XIII secolo, che prende il nome di Bettelmatt. Il Bettelmatt, ottenuto seguendo un disciplinare di produzione specifico, ha raggiunto un livello di importanza nazionale a tal punto da influire su alcune dimensioni socio-economiche delle valli.

Il presente contributo mira ad evidenziare il ruolo del Bettelmatt nelle implicazioni socio-economiche generate e sui possibili effetti sulla ricchezza delle comunità, concentrandosi su come, con un'adeguata strategia di comunicazione e promozione, esso possa generare reddito e incentivare il turismo sostenibile nelle aree montane secondarie. A tal fine, sono stati elaborati dati statistici e raccolte informazioni tramite questionario somministrato direttamente ad alcuni stakeholders primari con interviste face-to-face.

I risultati dimostrano che la presenza di un prodotto caseario di importanza nazionale può generare un miglioramento della qualità della vita delle popolazioni locali, sostenendo la promozione del territorio dal punto di vista turistico e sostenendo l'economia delle comunità locali. I risultati inoltre confermano l'importanza del ruolo delle istituzioni pubbliche nello stimolare iniziative private in ambito locale.

PAROLE CHIAVE/KEYWORDS: Sviluppo locale; filiera lattiero-casearia locale; turismo montano; formaggio tradizionale; Bettelmatt, Piemonte

1 Introduzione

Nel contesto europeo l'attività agricola è strettamente legata ai territori montani e alla produzione di prodotti alimentari tipici e di qualità, come i prodotti caseari. L'allevamento del bestiame, ad esempio, fornisce cibo alle comunità locali, rappresenta una fonte di reddito e di occupazione per gli abitanti delle montagne e contribuisce al mantenimento dell'equilibrio ambientale, preservando la biodiversità e il paesaggio montano. Il secondo grande driver di sviluppo tipico di molte aree montane è il turismo: anch'esso fa leva anche sulle risorse naturali e paesaggistiche offrendo l'opportunità di praticare numerose attività e di soddisfare esigenze e aspettative anche molto differenti (Beltramo et al., 2023; Bonadonna et al., 2017; Giachino et al., 2020). L'agricoltura e il turismo possono integrarsi a vicenda contribuendo alla conservazione del territorio e alla generazione di reddito per le comunità locali, valorizzando il patrimonio naturale e culturale del territorio montano (Duglio et al., 2019). Un esempio dell'interconnessione tra turismo e agricoltura può essere rappresentato dal formaggio Bettelmatt, una produzione agroalimentare tradizionale, nel nord-est della Regione Piemonte (Italia), che viene prodotto solo in alcuni alpeggi delle valli Antigorio e Formazza, nella Provincia del Verbano-Cusio-Ossola. Il Bettelmatt si differenzia dagli altri prodotti caseari dell'area alpina grazie ad uno specifico disciplinare di produzione che consente al prodotto finale di possedere specifiche caratteristiche organolettiche e sensoriali legate alle peculiarità della zona di produzione (Paleari et al., 2010; Bonadonna & Duglio, 2016). Inoltre, negli ultimi 30 anni, ha raggiunto un livello di importanza nazionale a livello gastronomico, che ha avuto ripercussioni anche dal punto di vista promozione del territorio di provenienza.

In questo contesto, il presente contributo si propone di indagare le implicazioni socio-economiche generate dal formaggio Bettelmatt e il suo impatto sulla ricchezza delle comunità locali dal punto di vista di alcuni stakeholders primari (allevatori/produttori, ente di controllo, ente proprietario del marchio, sindaci dei comuni coinvolti), concentrandosi su come tale produzione possa generare reddito e stimolare il turismo sostenibile nelle aree montane secondarie. Di seguito, sono presentate due brevi descrizioni, una dedicata alle attività agricole e turistiche in aree montane, l'altra orientata alla presentazione del Bettelmatt.

1.1 Agricoltura e turismo in aree montane

Storicamente l'agricoltura in montagna ha delle difficoltà oggettive a competere con altri sistemi agricoli, in particolare con quelli di pianura. Le motivazioni sono molteplici e concernono la conformazione e le caratteristiche dei territori montani che portano ad una produttività stimata nel 40%

in meno rispetto a quella di pianura (Euromontana, 2023), lo spopolamento dei territori montani, la frammentazione fondiaria tipica di alcuni contesti, in particolare alpini occidentali, e, non ultimo, la sovraesposizione finanziaria (Beltramo et al., 2018; Bonadonna et al., 2020; Duglio et al., 2023). Tutti questi elementi, quindi, rappresentano importanti impedimenti sia per avviare un'attività di impresa, che per poterla mantenere nel tempo, e non deve quindi stupire la diminuzione del numero di imprese agricole che ha conosciuto il contesto italiano negli ultimi 30 anni (Gretter et al., 2019).

Se si valuta il ruolo dell'agricoltura in montagna non impiegando esclusivamente le lenti della produttività e de reddito, però, è necessario sottolineare come questa attività svolga un ruolo importante anche su altri piani: la conservazione del paesaggio, del patrimonio naturale e delle tradizioni e culture delle comunità montane locali (Ricciardi et al., 2021) sono alcuni aspetti che è necessario prendere in considerazione per fornire una visione maggiormente completa del fenomeno. I prodotti alimentari, e in particolare quelli montani, consentono di richiamare la tradizione del territorio (Duglio et al., 2022), e sono spesso associati al concetto di qualità. Non è casuale, quindi, che nel contesto Europeo si sia lavorato molto per la creazione di uno schema di etichettatura dedicata al “prodotto di montagna”, oggetto di studio da parte di diversi autori (Bentivoglio et al., 2019; Bonadonna et al., 2017). Il richiamo alla tradizione del territorio spesso comporta un'importante sinergia con il comparto turistico: il prodotto di montagna, infatti, oltre ad essere già di per sé di interesse per il consumatore (Majkovič & Borec, 2010) è molto apprezzato dal “consumatore-turista”, sia in termini di motivazione stessa dell'esperienza turistica (Giachino et al., 2020), che durante la sua visita in-loco attraverso l'acquisto di produzioni locali (Duglio et al., 2022).

Da questa prospettiva, il comparto turistico potrebbe essere un utile mezzo per sostenere l'agricoltura di montagna, anche considerando il “peso” del settore: l'organizzazione mondiale del turismo, infatti, stima che il turismo montano rappresenti fra il 9% ed il 16% degli arrivi turistici internazionali mondiali (FAO & UNWTO, 2023).

Il comparto turistico montano è estremamente composito e ben si presta a soddisfare esigenze molto diverse fra loro sia in termini di attività proposte (FAO & UNWTO, 2023) che di aspettative, ma ha portato, in alcuni casi, ad esempi di monocultura turistica (si pensi ad alcune destinazioni turistiche invernali). Di norma una destinazione turistica montana si configura e si propone in base a delle caratteristiche sue proprie: turismo invernale, estivo, pratiche di ecoturismo basate patrimonio naturale e culturale, che può creare opportunità per lo sviluppo sostenibile (Duglio et al., 2019; Apollo & Andreychouk, 2022). Le produzioni tipiche locali, in questo contesto variegato, possono assumere un ruolo importante e, soprat-

tutto, indipendentemente dalla tipologia o tipologie di turismi. Le produzioni food possono infatti divenire elementi cruciali dell'offerta turistica in termini di proposizione del "prodotto turistico" stesso (Ermolaev et al., 2019; Rachão et al., 2020). Il Bettelmatt ne è un esempio.

1.2 Bettelmatt

Il formaggio Bettelmatt prende il nome dall'Alpe Bettelmatt, ultimo alpeggio italiano ai piedi del Passo del Gries, al confine tra Ossola (Provincia del Verbano-Cusio-Ossola, Piemonte) e Vallese (Svizzera). Grazie alla sua posizione geografica, l'Alpe Bettelmatt è stata per molti secoli un punto strategico per le rotte commerciali tra la Svizzera centrale e la Pianura Padana (ancora oggi la tradizionale "via dello Sbrinz" ne suggella l'antica importanza). Bettelmatt deve il suo nome all'usanza, risalente al Medioevo, di legare forme di formaggio per distribuirle in date prestabilite alle famiglie più povere della comunità: nel Vallese il termine "bettelmatt" (o bättelmatt), derivato dall'unione delle parole "bättel" (elemosina) e "mattu" (prato o pascolo), significa "pascolo dell'elemosina" (Rizzi, 2003). La fama dell'alpeggio è dovuta alla ricca fioritura del prato e, in particolare, alla presenza del levistico alpino o comune (*Ligustrum Muttelina* L.). La presenza di questa specie vegetale conferisce al formaggio caratteristiche qualitative che si sono mantenute nel tempo (Mortarotti, 1979; Delforno, 1981; Paleari et al., 2010).

Questa caratteristica è comune a tutti gli alpeggi che sono stati individuati grazie ad uno studio sul patrimonio pascolativo condotto nella Regione Piemonte (Regione Piemonte, 2002). Tra la seconda metà degli anni '90 e l'inizio degli anni 2000, Bettelmatt divenne popolare grazie a Edoardo Raspelli, esperto di cucina italiana, che ne diffuse la conoscenza attraverso i principali mass media dell'epoca (riviste e TV), raggiungendo le case dei consumatori.

La produzione del Bettelmatt segue le linee guida previste da un disciplinare di produzione (Ottogalli, 2001). Infatti, la Comunità Montana Antigorio Divedro e Formazza, i produttori di Bettelmatt e i proprietari di alpeggi hanno redatto e sottoscritto un disciplinare di produzione del Bettelmatt, al fine di definire alcuni criteri comuni per il processo produttivo e le caratteristiche finali del prodotto. Il disciplinare di produzione precisa che con la denominazione Bettelmatt si identifica il formaggio ossolano prodotto nelle valli Antigorio e Formazza, con particolare riferimento agli alpeggi Alpe Forno e Alpe Sangiatto (Comune di Baceno), Alpe Pojala (Comune di Premia), Alpe Toggia/Regina, Alpe Kastel, Alpe Morasco/Bettelmatt e Alpe Vannino (Comune di Formazza). Gli alpeggi Toggia e Morasco sono abbinati rispettivamente all'Alpe Regina e all'Alpe Bettelmatt, che condividono una vegetazione che conferisce al latte caratteristiche di assoluto pregio (Regione Piemonte, 2002).

Il Bettelmatt è un formaggio grasso a pasta semicotta, prodotto con

latte vaccino intero di unica mungitura; le forme sono cilindriche con una sezione laterale di 8 cm e un diametro di circa 25/35 cm ed il peso può variare dai 4 ai 6 chilogrammi. La pasta è gialla, compatta e morbida con occhiatura a pernice; la crosta è liscia. Il latte viene lavorato subito dopo la mungitura, con la naturale acidità di fermentazione, senza pastorizzazione e utilizzando siero innesto. La caratteristica forma è ottenuta utilizzando stampi a superficie liscia e la salatura può essere a secco o in salamoia. La stagionatura minima è di 60 giorni (Bonadonna & Duglio, 2016; Lucarno, 2022). Inoltre il formaggio Bettelmatt non può essere prodotto al di sotto dei 1.800 metri di altitudine. I bovini che forniscono il latte devono essere alimentati con erba da pascolo; sono ammessi solo integratori di oligoelementi.

Per garantire la riconoscibilità del prodotto, le forme vengono date (data di produzione) e marchiate con il nome Bettelmatt, direttamente sulla crosta, con il marchio identificativo CE e l'alpeggio di provenienza. Il marchio viene apposto dai marcatori ufficiali Bettelmatt solo dopo regolare valutazione e selezione delle forme, in base alle caratteristiche richieste dal disciplinare. Per quanto riguarda la commercializzazione, ogni anno i produttori fissano un prezzo minimo per la vendita del Bettelmatt in assemblea ordinaria, in modo da valorizzare il prodotto ed evitare speculazioni.

2 Metodologia

2.1 Area di studio

L'area di indagine è situata nella provincia del Verbano-Cusio-Ossola, nel nord-est della Regione Piemonte, al confine con la Regione Lombardia e la Svizzera. Questa zona è divisa in due parti principali: la zona dei laghi e 8 valli montane. Il Bettelmatt è prodotto in particolare in due di queste valli, ovvero Antigorio e Formazza, che contano complessivamente 4 comuni: Baceno, Crodo, Premia (Valle Antigorio) e Formazza (Valle Formazza). Le principali caratteristiche territoriali sono riportate nella Tabella 1.

Comuni	Superficie km ²	Abitanti	Altitudine (m s.l.m.)
Baceno	68,72	871	655
Crodo	53,58	1.400	525
Formazza	130,41	446	1.280
Premia	89,17	557	800
Totale	341,88	3.274	

Table 1 – Antigorio and Formazza Valleys

Fonte: Siti internet dei Comuni

L'area è fortemente caratterizzata dalle attività agricole, rappresentate per lo più dall'allevamento del bestiame (ISTAT, 2022). Le valli Antigorio e Formazza ospitano 40 aziende agricole, particolarmente dedite all'allevamento di bovini e caprini. Oltre 1.200 capi di bovino e 600 piccoli ruminanti pascolano nei pascoli alle quote più elevate durante la stagione estiva.

In riferimento al turismo, nelle valli Antigorio e Formazza, il settore turistico è costituito da 90 strutture ricettive e 41 altre tipologie di locazione per circa 4.400 posti letto. Da segnalare inoltre che in valle sono presenti 11 rifugi (9 a Formazza e 2 ad Antigorio) per circa 473 posti letto, che rappresentano il 10,7% dei posti letto totali del comprensorio. Gli arrivi nel 2022 sono stati 34.719 e la componente straniera pesa solo per il 17% e questo potrebbe essere il motivo principale per cui la Durata Media di Soggiorno (ALS) è fissata a 2,21 (in media ogni turista rimane 2,21 giorni sul territorio) (Regione Piemonte, 2022).

2.1 Materiali e metodi

Inizialmente sono state individuate le aziende agricole aderenti all'Associazione Produttori Formaggio Bettelmatt. Sono 8, situate nei comuni di Premia (4), Crodo (1), Crevoladossola (1), Baceno (1) e Formazza (1), e praticano la transumanza negli alpeggi indicati nel disciplinare di produzione. Tre produttori Bettelmatt operanti negli alpeggi "Alpe Forno" e "Alpe Sangiatto" sono stati selezionati come rappresentanti dei produttori a cui si aggiungono il responsabile dell'ente di controllo (Istituto lattiero-caseario di Moretta) e la Giunta dell'Unione Comuni Montani Alta Ossola, in qualità di proprietario del marchio.

La raccolta dati è stata effettuata attraverso la costruzione e successiva somministrazione di un questionario con intervista semi-strutturata volta ad il ruolo del formaggio Bettelmatt nel contesto locale (dal punto di vista storico, sociale, economico, ambientale e turistico).

Le interviste ai soggetti individuati si sono svolte nell'estate 2023 con un contatto preliminare per presentare il progetto di studio e i suoi obiettivi e poi fissare una data per la successiva intervista. Ciascuna intervista è stata condotta da uno dei due autori ed è durata in media circa 1 ora. Le interviste sono state trascritte in modo tale da consentire agli autori di analizzare in modo indipendente i risultati ottenuti (Atkinson & Shaffir, 1998). I dati raccolti dalle interviste sono stati elaborati individualmente da ciascun autore per evitare di influenzarsi a vicenda e, in una fase successiva, i risultati sono stati confrontati e ulteriormente elaborati individuando gli elementi chiave per raggiungere l'obiettivo dello studio.

3 Risultati

Dalle interviste emerge che un prodotto agroalimentare tipico locale, come il Bettelmatt, e le attività agricole ad esso collegate possono effettivamente sostenere lo sviluppo territoriale di un'area geografica limitata. Gli elementi che possono essere presi in considerazione sono il ruolo del Bettelmatt nel contesto socio-economico locale e da un punto di vista turistico. Di seguito, alcuni approfondimenti.

3.1. Il Bettelmatt e le condizioni socio-economiche locali

Il Bettelmatt viene indicato come strumento per il miglioramento delle condizioni socio-economiche. Gli intervistati infatti evidenziano il ruolo del Bettelmatt nel sostegno e miglioramento delle attività agricole, definendolo un elemento utile per lo sviluppo territoriale locale.

L'operatore 1 sottolinea che il Bettelmatt ha contribuito in modo sostanziale alla qualità della vita negli ultimi 20 anni. Può essere considerato a tutti gli effetti il prodotto di punta del territorio e, grazie alla sua fama, valorizza tutto il territorio, compresi gli altri prodotti locali. Le attività agricole si sono mantenute nel tempo e sono cresciute grazie al Bettelmatt. La definizione del marchio e la costituzione dell'associazione hanno permesso di valorizzare la produzione lattiero-casearia in modo da far riconoscere il vero valore commerciale del prodotto che, di fatto, consente la sopravvivenza delle aziende agricole coinvolte. Inoltre, sottolinea più volte il ruolo del Bettelmatt nella generazione di ricchezza diretta e indiretta, grazie al prezzo di vendita piuttosto elevato, che permette di valorizzare ulteriormente anche le altre produzioni casearie, e nella alimentazione dei processi di modernizzazione e innovazione aziendale migliorando i requisiti di qualità del prodotto finale.

L'operatore 2 sottolinea che la reputazione del Bettelmatt in tutto il Nord Italia permette di accrescere il valore alla produzione, che ricade direttamente sul territorio a beneficio di tutta la comunità. In accordo con l'operatore 1, sottolinea che il Bettelmatt rappresenta un valore aggiunto per le altre produzioni casearie, anche se è difficile quantificarne il peso economico, e consente maggiori entrate che possono essere reinvestite sul territorio.

In tal senso, l'operatore 3 precisa che, rispetto a 20-30 anni fa, la ricchezza prodotta consente l'integrazione di migliorie in ambito produttivo. La disponibilità di capitali da investire e la continua innovazione crea entusiasmo nelle nuove generazioni che sembrano essere ben predisposte a continuare le attività familiari. Egli, inoltre, ricorda che in passato la produzione lattiero casearia era orientata a produrre il formaggio e portarlo a valle per la vendita. Oggi, il percorso sembra essere invertito: sono i consumatori/turisti a venire in alpeggio per vedere dove il formaggio è prodotto,

per consumarlo direttamente in loco e per acquistarlo e portarlo a casa. Il Bettelmatt, in ogni caso, è uno strumento utile per il mantenimento delle attività agricole negli alpeggi e per la salvaguardia del territorio. Infatti, non è aumentato solo il reddito delle aziende agricole coinvolte ma anche il valore degli alpeggi e le risorse dei comuni, proprietari dei pascoli e degli alpeggi, che possono reinvestire il maggiore introito per migliorare i servizi sul territorio.

I tre rappresentanti dei Comuni intervistati e il Presidente dell'Unione proprietaria del marchio sono allineati su quest'ultimo punto. Il Bettelmatt genera ricchezza per tutto il comprensorio e parte di questa ricchezza viene reinvestita dagli enti locali: l'Unione sostiene le spese di marchiatura e di consulenza dell'ente di controllo, i comuni sostengono il miglioramento delle vie di accesso e la ristrutturazione dei locali di servizio e per la caseificazione dei diversi alpeggi. Tutti gli enti sono consapevoli del valore economico, sociale ed ambientale che il Bettelmatt ricopre direttamente o indirettamente e, per quanto in loro potere, supportano ogni miglioria atta a garantire una più facile fruizione degli alpeggi e delle attività connesse.

Il responsabile dell'ente di controllo evidenzia infine che il sistema di qualità costruito per il Bettelmatt ha generato, nel corso dell'ultimo ventennio, un valore che è ricaduto direttamente sul territorio. Questo maggior valore ha stimolato l'ammodernamento delle aziende agricole, il coinvolgimento degli enti locali nel miglioramento dei servizi nei territori montani e un nuovo entusiasmo nelle giovani generazioni delle famiglie che gestiscono le aziende agricole. Questo tipo di risultato ovviamente è stato raggiunto grazie alla collaborazione di tutti i portatori di interesse locali, orientati a creare un sistema territoriale coeso. In tal senso, il responsabile dell'ente di controllo sottolinea che i produttori e l'Unione dei Comuni, proprietaria del marchio (e relativo disciplinare di produzione), stanno promuovendo una modifica al disciplinare, finalizzata al miglioramento di alcuni aspetti relativi all'allevamento, anche alla luce di una maggiore integrazione dei concetti di benessere animale.

3.2. Il Bettelmatt e il turismo locale

L'operatore 1 sottolinea che il Bettelmatt suscita l'interesse dei turisti e ne incentiva la presenza nella zona di produzione. La fama di questo prodotto spinge molte persone a raggiungere i luoghi dove pascolano le mandrie e i laboratori dove viene trasformato il latte. All'Alpe Crampiole sono infatti tre i laboratori di caseificazione, uno per ogni azienda agricola. Il Bettelmatt viene acquistato direttamente all'Alpe, viene consumato in azienda o negli shop vicini ai laboratori di caseificazione. Inoltre, la presenza del Bettelmatt alimenta l'organizzazione di eventi legati alla sua produzione come la festa di chiusura degli alpeggi (scarghè) che a fine estate/inizio autunno richiama

migliaia di persone in Alpe. Il Bettelmatt è anche un elemento importante per la gastronomia e la ristorazione locale: tutti i ristoranti del territorio offrono il Bettelmatt in menu da solo o come ingrediente caratterizzante di preparazioni, dalle più semplici a quelle più elaborate.

L'operatore 2 afferma che l'attività svolta in Alpe contribuisce a sostenere e incrementare il settore turistico poiché le attività agricole in alpeggio e la relativa produzione richiamano molti turisti che sono interessati agli animali al pascolo, da un lato, e al consumo dei prodotti del territorio, dall'altro. Sottolinea inoltre che il flusso turistico è alimentato anche dalle bellezze naturali del territorio e degli alpeggi da cui si ottengono il Bettelmatt e gli altri formaggi di montagna.

L'operatore 3 rafforza ulteriormente il ruolo del Bettelmatt dal punto di vista turistico evidenziando la curiosità che questo formaggio suscita nei turisti che desiderano vedere le bovine da latte al pascolo e sono disposti a camminare per 2 o 3 ore dal parcheggio in cui lasciano l'auto per soddisfare questa curiosità. Il Bettelmatt, inoltre, viene utilizzato dai migliori chef nei ristoranti più rinomati a beneficio di un ulteriore incremento della conoscenza del territorio.

I tre rappresentanti dei Comuni intervistati e il Presidente dell'Unione proprietaria del marchio sembrano supportare anche questa interpretazione turistica del Bettelmatt per il territorio. Essi, infatti, sottolineano che il Bettelmatt ha rappresentato la testa di ponte tra le Valli Antigorio e Formazza e il resto del Nord Italia. L'esposizione mediatica avuta nel corso degli ultimi 25-30 anni ha permesso di far conoscere il territorio anche da un punto di vista turistico, sottolineando il valore del locale patrimonio naturale, culturale e storico. Il presidente dell'Unione, proprietaria del marchio, sottolinea anche il ruolo centrale della già locale Comunità Montana che, a inizio anni 2000, acquistò il marchio da un privato mettendolo a servizio del territorio.

In termini turistici, il responsabile dell'ente di controllo evidenzia infine che il ruolo ricoperto dal critico gastronomico Edoardo Raspelli, a fine anni '90 inizio 2000, è stato determinante per la diffusione della conoscenza del Bettelmatt e del territorio locale. L'esposizione mediatica tramite i principali mass-media dell'epoca ha consentito una valorizzazione in tempi relativamente brevi non solo la produzione lattiero casearia locale ma anche il patrimonio naturale e storico delle Valli Antigorio e Formazza.

4 Conclusioni

Lo sviluppo locale in un'area rurale passa attraverso diversi strumenti come i programmi di sviluppo locale, in grado di stimolare e soste-

nere la creazione di infrastrutture, la diversificazione economica, l'agricoltura sostenibile e multifunzionalità, il turismo, la conservazione della cultura e del patrimonio, la promozione della creazione di un ambiente comunitario più coeso. In questo contesto, un elemento locale che può integrare i pilastri fondamentali dello sviluppo locale e può contribuire al raggiungimento di questi obiettivi nel loro insieme è il prodotto alimentare locale.

Sulla base delle evidenze che emergono da questo studio, il Bettelmatt sembra essere un valido esempio per confermare che un prodotto alimentare interamente prodotto in un'area piccola e delimitata può sostenere efficacemente l'economia locale e stimolarne la crescita. Il Bettelmatt, infatti, sembra rispondere positivamente al mantenimento delle attività agricole in aree marginali e in ambienti difficili, alla promozione del turismo, fino alla generazione di ricchezza che ricade interamente sul territorio.

I risultati ottenuti dallo studio, quindi, sembrano confermare quanto ipotizzato in fase di definizione del progetto di ricerca. Emergono tuttavia alcuni limiti ai risultati ottenuti in questa fase di studio, ossia il coinvolgimento parziale degli stakeholders primari della filiera del Bettelmatt. In questo senso, quindi, la ricerca futura dovrà essere orientata al coinvolgimento di tutti gli stakeholders primari (enti sovra-locali, produttori restanti e, in particolare, il turista) e alla raccolta e analisi delle relative prospettive.

Infine, una dimensione maggiormente quantitativa che valuti il valore economico della produzione, aggiornando precedenti studi (Bonadonna & Duglio, 2016) potrebbe essere utile al fine di avere un quadro più completo del ruolo dei Bettelmatt sullo sviluppo locale.

Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento va ai Produttori di Bettelmatt, all'Istituto Lattiero-Caseario di Moretta (Agenform), all'Unione dei Comuni Montani Alta Ossola e ai Comuni di Formazza, Premia e Baceno per disponibilità e collaborazione.

References

- APOLLO, M., ANDREYCHOUK, V. (2022). *Mountaineering Adventure Tourism and Local Communities: Social, Environmental and Economics Interactions*. Edward Elgar Publishing.
- ATKINSON, A.A., SHAFFIR, W. (1998). Standards for Field Research in Management Accounting. *Journal of management accounting research*, 10.
- BELTRAMO, R., BONADONNA, A., DUGLIO, S., PEIRA, G., VESCE, E. (2023). Local food heritage in a mountain tourism destination: Evidence from the Alagna Walser Green Paradise project. *British Food Journal*, ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2022-1136>
- BELTRAMO, R., ROSTAGNO, A., BONADONNA, A. (2018). Land Consolidation Associations and the Management of Territories in Harsh Italian Environments: A Review. *Resources*, 7(1), 19. <https://doi.org/10.3390/resources7010019>
- BENTIVOGLIO, D., SAVINI, S., FINCO, A., BUCCI, G., BOSELLI, E. (2019). Quality and origin of mountain food products: The new European label as a strategy for sustainable development. *Journal of Mountain Science*, 16(2), 428-440. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-4962-x>
- BONADONNA, A., DUGLIO, S. (2016). A Mountain Niche Production: The Case of Bettelmatt Cheese in the Antigorio and Formazza Valleys (Piedmont–Italy). *Quality-Access to success*, 17(150).
- BONADONNA, A., GIACHINO, C., TRUANT, E. (2017). Sustainability and Mountain Tourism: The Millennial's Perspective. *Sustainability*, 9(7), 1219. <https://doi.org/10.3390/su9071219>
- BONADONNA, A., PEIRA, G., GIACHINO, C., MOLINARO, L. (2017). Traditional Cheese Production and an EU Labeling Scheme: The Alpine Cheese Producers' Opinion. *Agriculture*, 7(8), 65. <https://doi.org/10.3390/agriculture7080065>
- BONADONNA, A., ROSTAGNO, A., BELTRAMO, R. (2020). Improving the Landscape and Tourism in Marginal Areas: The Case of Land Consolidation Associations in the North-West of Italy. *Land*, 9(6), 175. <https://doi.org/10.3390/land9060175>
- DELFORNO, G. (1981). *I formaggi tipici del Piemonte e della Valle d'Aosta*. Eda.
- DUGLIO, S., BONADONNA, A., LETEY, M. (2022). The Contribution of Local Food Products in Fostering Tourism for Marginal Mountain Areas: An Exploratory Study on Northwestern Italian Alps. *Mountain Research and Development*, 42(1), R1-R10. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-20-00075.1>

- DUGLIO, S., BONADONNA, A., LETEY, M., PEIRA, G., ZAVATTARO, L., LOMBARDI, G. (2019). Tourism Development in Inner Mountain Areas—The Local Stakeholders' Point of View through a Mixed Method Approach. *Sustainability*, 11(21), 5997. <https://doi.org/10.3390/su11215997>
- DUGLIO, S., SALOTTI, G., MASCADRI, G. (2023). Conditions for Operating in Marginal Mountain Areas: The Local Farmer's Perspective. *Societies*, 13(5), 107. <https://doi.org/10.3390/soc13050107>
- ERMOLAEV, V.A., YASHALOVA, N.N., RUBAN, D.A. (2019). Cheese as a tourism resource in Russia: The first report and relevance to sustainability. *Sustainability*, 11(19), 5520.
- EUROMONTANA (2023). Agriculture and Rural Development Available online: <https://www.euromontana.org/en/working-themes/agriculture-and-rural-development/> (accessed on 18 March 2023)
- FAO & UNWTO (2023), *Understanding and Quantifying Mountain Tourism*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Tourism Organization. DOI: <https://doi.org/10.18111/9789284424023>.
- GIACHINO, C., TRUANT, E., BONADONNA, A. (2020). Mountain tourism and motivation: Millennial students' seasonal preferences. *Current Issues in Tourism*, 23(19), 2461–2475. <https://doi.org/10.1080/13683500.2019.1653831>
- GRETTER, A., TORRE, C.D., MAINO, F., OMIZZOLO, A. (2019). New Farming as an Example of Social Innovation Responding to Challenges of Inner Mountain Areas of Italian Alps. *Journal of Alpine Research | Revue de Géographie Alpine*, 107-2, Articolo 107-2. <https://doi.org/10.4000/rga.6106>
- LUCARNO, G. (2022). Il formaggio bettelmatt: rapporti tra cibo e territorio nella tradizione walser della Valle Antigorio-Formazza (Piemonte). In *Geografia e cibo: ricerche, riflessioni e discipline a confronto* (Vol. 2022, pp. 55-61). Società Studi Geografici.
- MAJKOVIČ, D., BOREC, A. (2010). Are consumers in Slovenia concerned about the mountain quality food? *Revija Za Geografijo*, 5(1), 115-123. <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=70045>
- MORTAROTTI, R. (1979). *I Walser nella Val d'Ossola*. Libreria Giovannacci
- OTTOGALLI, G. (2001). *Atlante dei formaggi*. Hoepli.
- PALEARI, M.A., BERETTA, G., VANONI, L. (2010). An old traditional mountain cheese: The «Bettelmatt®»: microbiological and chemical characteristics. *Industrie Alimentari*, 49(508), 23-31.
- RACHÃO, S., BREDÁ, Z., FERNANDES, C., JOUKES, V. (2020). Cocreation of tourism experiences: Are food-related activities being explored? *British Food Journal*, 122(3), 910-928. <https://doi.org/10.1108/BFJ-10-2019-0769>

- REGIONE PIEMONTE (2002). *Il formaggio Ossolano. Uno studio per la caratterizzazione del territorio, dei sistemi produttivi zootecnici e dei formaggi*. Regione Piemonte – INTERREG II Italia Confederazione Elvetica.
- RICCIARDI, V., MEHRABI, Z., WITTMAN, H., JAMES, D., RAMANKUTTY, N. (2021). Higher yields and more biodiversity on smaller farms. *Nature Sustainability*, 4(7), Articolo 7. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00699-2>
- RIZZI, E. (2003). Bettelmatt: l'oro dei Walser. *Pumatterblatt*, 10(45), 3-15.

Mitigating climate change through soil carbon sequestration: a literature synthesis on agricultural LCAs

Rossana Strippoli
University of Bari Aldo Moro
Silvia Zingale
University of Catania
Teodoro Gallucci
University of Bari Aldo Moro
Paolo Guarnaccia
University of Catania
Carlo Ingrao
University of Bari Aldo Moro
Giovanni Lagioia
University of Bari Aldo Moro

ABSTRACT

Mitigating climate change and ensuring food security are among the greatest challenges for modern agricultural systems. Indeed, while the latter largely contribute to the total global greenhouse gas emissions, they also have the potential to mitigate the related climate change, mainly through carbon sequestration. Especially improved soil management practices, such as zero tillage, crop residue recycling, and application of organic matter, can increase soil organic carbon (SOC) stocks, thus leading to a sequestration of carbon dioxide emissions from the atmosphere into the soil. Additionally, those beneficial practices can enhance soil fertility and agroecosystems' productivity. All those practices will contribute to making agricultural systems more sustainable, thereby favouring the green transformation of all those sectors that depend upon agricultural products and activities, such as the tourist one. Within the LCA community, no consensus has been reached thus far on considering and quantifying SOC sequestration in agricultural systems. However, accounting for soil carbon sequestration could be particularly relevant for comparative LCAs between conventional and organic farming systems to determine their environmental profiles and the room for improvements. In line with this, the present study aimed at comprehensively reviewing agricultural LCAs adopting specific methods to measure SOC changes due to the application of organic and conservative soil management practices. This allowed the authors to stress the importance of carbon sequestration benefits from agroecological practices and to identify and discuss both the advantages

and limitations of the most adopted methods and approaches for including SOC sequestration accounting into LCA.

KEYWORDS: agriculture; soil carbon sequestration; agricultural Life Cycle Assessments (LCAs); literature review; climate change mitigation.

1 Introduction

Soil carbon sequestration is an option for mitigating climate change due to agriculture (Goglio et al., 2015). Considering that global soil organic carbon (SOC) is three times the amount of carbon in the atmosphere, small changes in SOC stocks can have a significant impact on atmospheric carbon dioxide (CO₂) levels, highlighting its important contribution to climate change mitigation (Beillouin et al., 2023; Siddique et al., 2024). Numerous factors directly or indirectly impact SOC levels, and one of the majors is land-use change (LUC) (Beillouin et al., 2023), and an example is the conversion from forest to croplands (Breil et al., 2023). Many sustainable management practices have been promoted to improve crop production, and mitigate greenhouse gas (GHG) emissions, especially under organic and conservative farming systems. These practices that can affect agricultural soil carbon (C) stocks include mainly: tillage practices, crop residue, crop rotations, and fertilizer management.

Life cycle assessment (LCA) is frequently undertaken to account for all GHGs emitted and the wide range of environmental impacts of crop production systems (Goglio et al., 2015). However, most of the agricultural LCA has not included the SOC changes in their assessments due to difficulties in modeling C dynamics within cropping systems and the increased uncertainty these estimations can bring to the final results. Moreover, when no Land Use Change or Land Management Changes (LMC) are present, the soil is assumed to reach a steady state, under which no more accumulations or losses of SOC occur. Despite this, several authors advocate for SOC changes accounting to have a more comprehensive and realistic understanding of cropping systems' environmental impacts. Especially for conservative and organic systems relying on practices that evidently increase the SOC stocks or systems in the transition towards sustainable regimes, not considering them could lead to misleading results. Conversely, SOC models are not easy to apply and can require a lot of time, data, and expertise.

In line with this, the present study aimed at reviewing agricultural LCAs adopting specific methods to measure SOC changes due to the application of organic and conservative soil management practices.

2 Methodology

To collect studies for this paper, the authors, in September 2023, carried out a literature review using the Scopus database, as the latter is considered among the most popular and easy-to-use search engines (Benvenuto et al., 2023). Results were recorded using “soil carbon change” and “life cycle assessment” as the two most representative keywords of the research area explored in this article. Only papers published in the English language were considered for the sample. Based on the search conditions above, the authors found 28 articles and 1 conference paper that, unfortunately, was excluded from the review as it was inaccessible. Hence, the authors performed an initial screening of the twenty-eight papers on the abstract level to understand the relevance of this review’s objectives. Doing so led them to exclude eight out of the 28 papers detected: the final review sample was formed by 20 papers. Those were clustered into the following main thematic areas: crop production (five articles), animal production (six articles); biofuels, and bioenergy production (nine articles). However, for reasons of consistency with the author’s ongoing research, the review was focused by the authors only on the fourteen articles exploring the relevant SOC-related issues in the field of crop production, and bioenergy and biofuels. Due to their peculiarities, animal production systems will be the objective of another dedicated review.

3 Results

This section reported the main findings from the reviewed articles as a starting point to identify the best practices that can be made to mitigate climate change within the agricultural and energetic sectors. Moreover, when possible, insights on the contribution of SOC to the overall environmental impacts of the investigated were extrapolated and provided. These aspects were addressed in detail by the authors in the following dedicated sub-sections. Fig. 1 and 2 show the distribution of the articles in relation to the thematic area explored and the publication year of the belonging articles. Unexpectedly, more papers belonged to the biofuels and bioenergy area rather than the crop production one. Also, it has been confirmed that the interest within the LCA community in accounting for SOC changes is quite recent but is expected to grow, considering the significant influence that such an issue plays in the carbon footprints of agricultural systems.

Distribution of the articles based on the thematic area

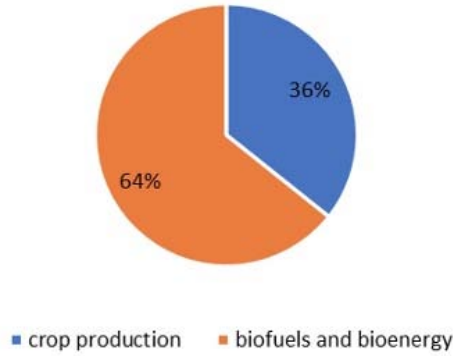


Figure 1 – Paper distribution per thematic area with respect to a total of fourteen papers

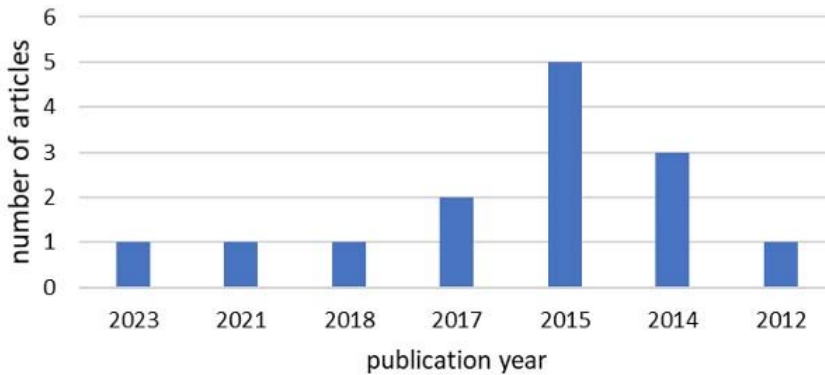


Figure 2 – Publication time trend of the reviewed articles

3.1 Crop production LCAs

With regard to the ‘plant production’ thematic area, Ukaew et al. (2023), Joensuu et al. (2021), Fiore et al. (2018), Knudsen et al. (2014), and Gan et al. (2012) articles were investigated in terms of both methodological choices and results.

Especially, Gan et al. (2012), Knudsen et al. (2014), Joensuu et al. (2021), and Ukaew et al. (2023) assessed the environmental impacts of arable crops, whilst Fiore et al. (2018) investigated the fruit sector.

Interestingly, Gan et al. (2012), and Joensuu et al. (2021) calculated SOC changes in wheat cultivation, confirming the importance of this crop within the agricultural sector. Also, the performances of wheat were evaluated by Knudsen et al. (2014), being part of the crop rotations, they investigated. Differently, the work of Ukaew et al. (2023) was focused on ginger rotation cropping systems.

In particular, Gan et al. (2012) determined the carbon footprint (CF) and the SOC changes of four different rotation systems of spring wheat, namely (a) fallow-wheat (FW), (b) fallow-wheat-wheat (FWW), (c) fallow-wheat-wheat-wheat-wheat-wheat (FWWWWW), and (d) continuous-wheat (ContW) for 25 years period, in Canada. For each rotation system, the soil organic carbon gained was determined as the difference between the annual SOC in 2009 and the annual SOC in 1985, divided by the time period (that is, 25 years), and multiplied by the converting coefficient of C into CO₂. Results showed that by limiting fallow, SOC stocks increased; indeed, the ContW system reached high SOC levels, on average 73.3% more than the other rotational systems. The CF calculation was highly influenced by SOC inclusion or exclusion from the analysis. As a result, if soil C sequestration was not included, the CF was similar among the four different crop rotations, while when changes in soil C were included, the CF resulted in a negative value for all, with the highest score for continuous W. Therefore, the study indicated that to lower the carbon footprint of spring wheat it's necessary to increase yield, improve N use efficiency, and most importantly to enhance soil carbon gain through the reduction of the frequency of summer fallow.

Also, Joensuu et al. (2021) included soil C changes in the LCA of spring wheat production in two regions of Finland with mineral soils. They used the soil carbon model Yass07 to assess the SOC changes and tested the effects of two main assumptions on the final SOC change estimates. The first assumption regarded the initialization of the model (e.g., I1 = soil in a steady state with the recent regional average field use, and I2 = soil carbon stock decreasing year per year, from 1900), while the second dealt with the timeframe considered (20 or 100 years). According to their results, the inclusion of the assessment of soil C change for spring wheat production reduced GHG emissions by an average of 9% to 4% for both regions. Results show that if no management changes were performed, the impact of SOC changes on the overall GHG emissions was relatively small. In particular, adding a cover crop was a great way to increase the SOC stock, as it reduced the global warming impact between -67 and -26% in both regions. Moreover, Joensuu et al. (2021) provided the following methodological insights for accounting SOC changes in LCA: (i) choices made in the SOC stock modeling process should be transparently reported and com-

municated since they remarkably affect the results; (ii) the method of accounting SOC changes should be chosen based on the land use type, and availability of locally calibrated models; (iii) the reference state of SOC stock should reflect the prevailing management or the current agricultural land use situation in the region; (ii) the timeframe depends on the goals of the study, but a 100 years perspective is recommended.

Knudsen et al. (2014) compared different arable rotations with different sources of N supply regarding their effect on the carbon footprint of the whole rotations and the crops in the rotation. The study relied on long-term field experiments at three different locations in Denmark and analyzed three different organic cropping systems, one conventional cropping system and a “no input” system as reference systems. The system boundaries adopted within their study also included soil carbon changes. The latter were estimated per each organic rotation in accordance with the approach proposed by Petersen et al. (2013). This last considered that the 10% of the added carbon to the soil will be sequestered in a 100-year perspective, independently from the status of the soil. Thus, the single year’s carbon input from manure and above and below-ground residues was estimated for both the conventional and organic crop rotations. The conventional one was considered as the point of departure. Thus, the relative difference between the conventional crop rotation in total carbon input was calculated per each organic scenario and multiplied by 10% to get the effect on atmospheric CO₂ (Petersen et al., 2013). The results stressed that the carbon footprints based on the full crop rotation and those assessed for the individual crops would have been quite different if the crop rotation effects and the soil carbon changes had not been included. In particular, they found a high potential for mitigation of the organic systems and suggested cultivating legumes in a rotation, fermenting them in a biogas plant and spreading the nutrient from the residuals to the field. Indeed, this would maintain soil fertility, and increase soil C sequestration.

Ukaew et al. (2023) evaluated the change in soil C resulting from LUC and LMC in ginger production. In fact, ginger cultivations cannot be grown for long periods within the same field due to soil and plant diseases: this has created an LUC problem since many natural forest areas have been cleared and replaced every year with ginger cultivations. In particular, Ukaew et al. (2023) used the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Tier 1 method with modification (Ukaew et al. 2015) to predict the soil C changes of two different 4-year rotation cycles, one of maize-maize-maize-ginger (MMMG) relative to the reference practice of maize-maize-maize-pumpkin (MMMP) and the other of upland rice-upland rice-upland rice-ginger (UUUG) rotation relative to the reference practice of upland rice-upland rice-upland rice-vegetable

(UUUV) rotation for 20 years of cultivation. In addition, they compared the changes in soil C involving ginger rotation to those from land use changes associated with the conversion of forest to ginger plantation. It was found that LUC, from forest to ginger cultivation, caused soil C losses of 46% compared to the LMC practice of growing ginger as a crop rotation. This result was strongly influenced by the combination of decreased tillage and crop residue input, which led to increased soil C stocks for both rotations.

Although not at the same extent as LCA on arable crops, environmental studies assessing the carbon footprint of fruit tree agroecosystems are increasingly emerging, showing a similarity of orchards and forest ecosystems in terms of CO₂ sequestration.

Among the papers reviewed, only Fiore et al. (2018) assessed the GWP impact of fresh fruit production (i.e., apricot, peach), in Mediterranean climatic conditions under local conventional management, and evaluated the mitigation potential of introducing different sustainable management practices (including mulching, no-tillage, application of compost, properly planned fertilisation and irrigation practices). The authors applied the Roth-C model to simulate the changes in SOC, considering a period of 20 years, and the semiarid conditions. The results confirmed that switching from conventional to sustainable farming practices in orchards might effectively mitigate GHG emissions (-2.7 t CO₂ eq. ha⁻¹yr⁻¹). The authors attributed This mitigation potential mostly to increased soil carbon content and, to a lesser extent, to reduced anthropogenic emissions from the reduced agricultural operations in sustainably managed systems compared to conventional ones.

3.2 LCAs of biofuel and bioenergy systems

LCAs on biofuel systems (mainly biodiesel, and bioethanol) considering SOC changes have been included within this review since considered essential for the transition towards a sustainable circular economy. However, biomass cultivation is often carried out relying on increased amounts of external inputs and can also cause direct land use changes. The same occurs for biomasses cultivated to generate other renewable energy sources and bio-refinery products.

Malça et al. (2014), Queirós et al. (2015), and Ukaew et al. (2015) investigated the environmental impact of rapeseed production for biofuels, which is considered a sustainable alternative to fossil fuels.

Malça et al. (2014) assessed the most representative cultivation systems for rapeseed-based biodiesel marketed in Europe and evaluated the implications of changing soil management activities (full-tillage with low input), in the global warming impact of biodiesel. Thus, the LCA analysis

was integrated with the accounting of the SOC changes, as calculated following the IPCC and EU guidelines (EC, 2010, IPCC, 2006). The analysis showed that cultivation is the primary hotspot of the biodiesel production system, irrespective of the environmental impact and agricultural system considered. The type of cultivation influences global warming impact due to the soil carbon changes, resulting in sequestrations (from 9% to 39%) or emissions (from 27 to 136%), also based on the differences between the countries in terms of rape seed yields and climate.

Similarly, Queirós et al. (2015) evaluated the life cycle of the rapeseed production in Europe, investigating different fertilization and management practices. As for Malca et al. (2014), the annualized soil carbon stock variations (tonnes of carbon per hectare per year, $t\ C\ ha^{-1}\ yr^{-1}$) were calculated in accordance with the IPCC and EU guidelines (EC, 2010, IPCC, 2006). The results were in line with those previously reported by Malca et al. (2014), confirming that soil carbon change was the most important contribution to rapeseed GHG intensity. Their results highlighted that the transition from full-tillage to reduced tillage or no-tillage led to significant soil C stock increases. In addition, they stressed the relevance of geographic conditions in the choice of the crop to grow, suggesting to not convert soil with high SOC content to rapeseed cultivation to avoid excessive carbon emissions.

In line with this, Ukaew et al. (2015) determined soil C changes in rapeseed production in ten US states and the GHG emissions from its use in hydrotreated renewable jets (HRJ). The IPCC Tier 1 method with some modifications was adopted. They found that the adoption of high residue input with no tillage for the rotation cropping of rapeseed with wheat had led to increase soil C. The worst management practice was adding low residue input to both crops with full tillage. Moreover, they highlighted that rapeseed HRJ saved, on average, 65% of GHG emissions compared to non-renewable jet fuel.

Important findings related to the bioethanol systems were provided also by Schmer et al. (2015). Differently from the others, these authors evaluated for the first time how SOC changes in subsurface soil depths (that means $>30\ cm$) influence the farm-to-pump biofuel GHG emissions from corn grain, corn stover, and switchgrass. To this aim, they used the Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in the Transportation (GREET) model. Results showed as much as a 154% difference in GHG emission values when SOC stock changes are accounted for in near-surface only versus both near- and sub-surface soils.

The article developed by Murphy et al. (2015) described a field-to-blending terminal LCA of cellulosic ethanol produced by biochemical conversion (hydrolysis and fermentation) using corn stover or switchgrass as

feedstock. A full LCA, including the SOC changes accounting by combined models (field tests, and DAYCENT model), was performed for more than 30 scenarios, reflecting a range of feedstock, technology, and scale options for near-term and future facilities. Cellulosic ethanol significantly reduces GHG emissions compared to petroleum-based liquid transportation fuels, though substantial uncertainty exists. The greatest source of uncertainty was represented by soil carbon changes, which dominated all other sources of GHG emissions.

Cropping systems finalized for biogas production were investigated by two studies among those reviewed, namely Hamelin et al. (2014) and Pehme et al. (2016). Both studies addressed the main environmental issues related to biogas from manure-based biogas. Indeed, even if highly impactful, manure is still considered an essential resource for biogas production systems, as it has a great potential for energy production. According to their findings, straw, biowastes, and grass (both cultivated and semi-natural) should be prioritized as co-substrates for manure-based biogas. Especially, co-substrates already in use for energy recovery displayed a lower environmental impact compared to energy crops, because of the reduced indirect land use change emissions.

Finally, two studies evaluated the environmental performances of different crops destined for multiple purposes within specific biorefineries. In particular, Karlsson et al. (2015) performed a Consequential LCA to analyze a change from the current use of faba bean as protein feed for dairy cows (reference scenario) to two alternative uses where the whole crop is harvested and processed in a bio-refinery to produce ethanol, protein concentrate feed and fuel briquettes (biorefinery scenario) or with the whole crop used as roughage feed (roughage scenario). Climate change, land use, and energy use (fossil primary energy). The Introductory Carbon Balance model (ICBM) assessed soil carbon changes as relevant.

Both in the biorefinery and roughage scenario, the use of the whole fava bean plant increased GHG emission compared to the current-use scenario, while energy and land use decreased in the biorefinery scenario, and only the demand for land decreased in the roughage scenario. The increase in climate impact was due to SOC changes and the grain needed to satisfy the same nutritional requirement as the Reference scenario. This suggested the importance of considering SOC changes within the LCA analyses to carefully explore new options for biorefinery production.

These findings were further confirmed by Parajuli et al. (2017), whose study aimed at assessing the environmental impacts associated with producing maize, grass-clover, ryegrass, and straw from winter as biomass feedstock for bio-refinery. The impact assessment covered the following impact categories: Global Warming Potential (GWP100, including the con-

tribution of SOC changes, using the C-TOOL), Eutrophication Potential (EP), Non-Renewable Energy use (NRE), Potential Fresh Water Ecotoxicity (PFWTox) and Potential Biodiversity Damages (PBD). Concerning GWP impacts, the CFs of ryegrass, grass-clover, and maize were significantly affected by including the SOC changes, which in turn were dependent on organic matter turnover in the soil and other agro-climatic conditions. The authors estimated that, on average, about 35% of the GHG emissions related to ryegrass and grass clover were mitigated because of SOC change. The NRE impact showed the same trend of GEWP for the crop biomasses (highest for ryegrass, grass-clover, and maize), whereas PFWTox (depending on the application of pesticides), and the PBD showed another picture. This highlights the need for evaluating a wider set of impact categories.

4 Discussion and Conclusions

The studies analysed were found to be relevant and on target with this review’s objectives, as they allowed the authors to describe some key aspects related to the accounting of the SOC change in agricultural LCAs and identifying the most important agricultural management practices to promote to foster the mitigation of climate change. For completeness, Table 1 was reported to show the main key features of each study reviewed in terms of methodological choices, such as functional unit (FU), system boundaries, and SOC model. This team of authors found a large variability in terms of methodological choices, consistently with the aim of the study and the function of the investigated systems. Regarding SOC accounting, several methods were applied based on different principles (e.g., considering or not the initial status of the soil in terms of SOC) and different time perspectives (e.g., 20 or 100 years). This creates problems in comparing results among studies, that the scientific community is increasingly working on to solve.

Reference	Study area	Products/crops	Time period	Functional unit	System boundary	LMC	LUC	SOC Model
Ukawe et al., 2023	North Thailand	Pickled ginger	Long term	1 kg	From cradle to gate	x	x	IPCC Tier 1 with modification

Joensuu et al., 2021	Finland	Spring wheat	Long term	1 kg	From cradle to gate	x	x	IPCC Tier 1 IPCC Tier 3 Yasso07
Fiore et al., 2018	South ern Italy	Apricot and peach orchards	Long term	1 ha	From cradle to farm gate	x		Roth-C
Gan et al., 2021	Canada	Spring wheat	Long term	1 ha	From cradle to farm gate			Field measurements
Knudsen et al., 2014	Denmark	Harvested crop dry matter	Long term	1 kg	From cradle to farm gate			Petersen et al. (2013)
Pehme et al., 2017	Estonia	Manure-based Biogas	Long term	1 t (wet)	From cradle to gate		x	IPCC and EU guidelines
Parajuli et al., 2017	Denmark	Biomass from maize, grass-clover, ryegrass, and straw from winter wheat	Long term	1 t (dry matter)	From cradle to farm gate		x	C-tool
Karlsson et al., 2015	Sweden	Faba bean for biorefinery	Long term	1 ha	From cradle to gate			Introductory Carbon Balance Model (ICBM)
Schmer et al., 2015	Nebraska and Colorado	Corn grain, corn stover, and switchgrasses for ethanol	Long term	g MJ ⁻¹ of ethanol	From cradle to gate			GREET Model

Murphy et al., 2015	Midwestern or Central US	Corn stover or switchgrasses for bio-ethanol	Long term	1 MJ of ethanol	Field-to-blending terminal			DAYCENT model
Queirós et al., 2015	France, Germany and Poland	Rapeseed for biodiesel	Long term	1 t (dry matter)	From cradle to farm gate	x		CML 2 baseline 2000
Ukew et al., 2015	United States	Rapeseed for HRJ fuel	Long term	1 MJ	From cradle to grave	x		IPCC Tier 1
Hamelin et al., 2014	Denmark	Manure-based biogas	Long term	1 t of manure excreted.	From farm to gate		x	C-Tool
Malça et al., 2014	Europe	Rapeseed for biodiesel	Long term	1 MJ of biodiesel energy content	From cradle to gate		x	IPCC and EU guidelines

Table 1 – Summary of agricultural LCAs

Long-term: about 20 years or more

Mid-term: about 10 years

LMC: land management changes

LUC: land use changes

SOC: soil organic carbon

Despite this, it should be remarked that all the authors found the SOC changes significantly affected the environmental performances of the systems they studied. This indicates that the accounting of SOC changes is no longer negligible in agricultural LCAs, especially in those that compare strongly different systems (e.g., organic/conservative and low input vs. conventional and high input) or those that explore new crop cultivation possibilities. In particular, a better representation of conservative farming systems could be achieved by considering both nitrogen (N) and C soil changes.

In this regard, this review's findings supported the evidence that the combined GHG-emission mitigation and soil quality enhancement can be fostered by:

- the transition towards conservative tillage practices (reduced or no tillage);
- the reduction of the use of fertilizers (especially the N-based ones);
- the return of plant material to the soil; and
- the design of appropriate crop rotations.

In any case, this article's authors strongly recommend carefully evaluating new sustainable management practices in relation to their feasibility to the specific pedological and climatic conditions of the area under study.

Moreover, from a methodological point of view, in line with the studies here reviewed, it emerged the need to reduce the uncertainty related to SOC changes accounting by improving the consistency and reliability of the data used within the different models/methods and promoting a harmonization process within the LCA community for assessing soil C dynamics in agricultural LCAs. Given the relevant interaction between the crop and the pedoclimatic conditions of the growing location, this team of authors suggests choosing the model best aligned with the local conditions under which the study is carried out and performing sensitivity analyses. It would also be necessary to couple this SOC accounting for climate impacts with other impact categories concerning the quality of the soil.

This preliminary review will be soon expanded in a systematic review, which will be performed searching more than one database, and utilizing statistics tools to analyze the results both qualitatively and quantitatively.

References

- BEILLOUIN, D., CORBEELS, M., DEMENOIS, J., BERRE, D., BOYER, A., FALLOT, A., FEDER, F., CARDINAEL, R. (2023). A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene. *Nature Communications* 14, 3700.
- BENVENUTO, M., AUFIERO, C., VIOLA, C. (2023). A systematic literature review on the determinants of sustainability reporting systems. *Heliyon*, 9, e14893.
- BREIL N.L., LAMAZE, T., BUSTILLO, V., MARCATO-ROMAIN C.E., COUDERT, B., QUEGUINER, S., JAROSZ-PELLÉ, N. (2023). Combined impact of no-tillage and cover crops on soil carbon stocks and fluxes in maize crops. *Soil and Tillage Research*, 233, 105782.
- DJOMO, S.N., DE GROOTE, T., GOBIN, A., CEULEMANS, R., JANSSENS, I.A. (2019). Combining a land surface model with life cycle assessment for identifying the optimal management of short rotation coppice in Belgium. *Biomass and Bioenergy*, 121, 78-88.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2015). Climate change and food security: risks and response. <<https://www.fao.org/3/i5188e/I5188E.pdf>> (Accessed: 28/09/2023)
- FIGLIORE, A., LARDO, E., MONTANARO, G., LATERZA, D., LOIUDICE, C., BERLOCO, T., DICHIO, B., XILOYANNIS, C. (2018). Mitigation of global warming impact of fresh fruit production through climate smart management. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3634-3643.
- GAN, Y., LIANG, C., CAMPBELL, C.A., ZENTNER R.P., LEMKE, R.L., WANG, H., YANG, C. (2012). Carbon footprint of spring wheat in response to fallow frequency and soil carbon changes over 25 years on the semiarid Canadian prairie. *European Journal of Agronomy*, 43, 175-184.
- GOGGIO, P., SMITH W.N., GRANT, B.B., DESJARDINS, R.L., MCCONKEY, B.G., CAMPBELL, C.A., NEMECEK, T. (2015). Accounting for soil carbon changes in agricultural life cycle assessment (LCA): a review. *Journal of Cleaner Production*, 104, 23-39.
- HAMELIN, L., NAROZNOVA, I., WENZEL, H. (2014). Environmental consequences of different carbon alternatives for increased manure-based biogas. *Applied Energy*, 114, 774-782.
- JOENSUU, K., RIMHANEN, K., HEUSALA, H., SAARINEN, M., USVA, K., LEINONEN, I., PALOSUO T. (2021). Challenges in using soil carbon modelling in LCA of agricultural products—the devil is in the detail. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(9), 1764-1778.

- KARLSSON, H., AHLGREN, S., STRID, I., HANSSON, P.A. (2015). Faba beans for biorefinery feedstock or feed? Greenhouse gas and energy balances of different applications. *Agricultural Systems*, 141, 138-148.
- MALÇA, J., COELHO, A., FREIRE, F. (2014). Environmental life-cycle assessment of rapeseed-based biodiesel: Alternative cultivation systems and locations. *Applied Energy*, 114, 837-844.
- MURPHY, C.W., KENDALL, A. (2015). Life cycle analysis of biochemical cellulosic ethanol under multiple scenarios. *GCB Bioenergy*, 7(5), 1019-1033.
- PARAJULI, R., KRISTENSEN, I.S., KNUDSEN, M.T., MOGENSEN, L., CORONA, A., BIRKVED, M., PEÑA, N., GRAVERSGAARD, M., DALGAARD, T. (2017). Environmental life cycle assessments of producing maize, grass-clover, ryegrass and winter wheat straw for biorefinery. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3859-871.
- PEHME, S., VEROMANN, E., HAMELIN, L. (2017). Environmental performance of manure co-digestion with natural and cultivated grass – A consequential life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1135-1143.
- QUEIRÓS, J., MALÇA, J., FREIRE, F. (2015). Environmental life-cycle assessment of rapeseed produced in Central Europe: Addressing alternative fertilization and management practices. *Journal of Cleaner Production*, 99, 266-274.
- SCHMER, M.R., JIN, V.L., WIENHOLD, B.J. (2015). Sub-surface soil carbon changes affects biofuel greenhouse gas emissions. *Biomass and Bioenergy*, 81, 31-34.
- SIDDIQUE K.H.M., BOLAN, N., REHMAN, A., FAROOQ, M. (2024). Enhancing crop productivity for recarbonizing soil. *Soil and Tillage Research*, 235, 105863.
- UKAEW, S., BECK, E., ARCHER, D.W., SHONNARD, D.R. (2015). Estimation of soil carbon change from rotation cropping of rapeseed with wheat in the hydrotreated renewable jet life cycle. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(5), 608-622.
- UKAEW, S., WEERACHAIPICHASGUL, W., MOTONG, N., CHANTAM, P., YAOWARAT, W. (2023). Implication of soil carbon changes on the greenhouse gas emissions of pickled ginger: a case study of crop rotation cultivation in Northern Thailand. *Energy, Ecology and Environment*, 8(4), 370-387.
- XIAO, L., ZHOU, S., ZHAO, R., WEI, C. (2023). The net and combined effects of minimum tillage and straw mulching on carbon accumulation in global croplands. *European Journal of Agronomy*, 143, 126719.

Monitoraggio di IPA in distillato di legno per l'applicazione in campo agronomico

Chiara Vita

Polo Universitario Città di Prato
Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

Lorenzo Venturini

Università degli Studi di Firenze
Polo Universitario Città di Prato

Samuel Pelacani

Università degli Studi di Firenze

Marco Sarti

Università degli Studi di Firenze

Giovanni Cappelli

Università degli Studi di Firenze
Polo Universitario Città di Prato

Nicola Mucci

Università degli Studi di Firenze
Polo Universitario Città di Prato

Giulio Arcangeli

Università degli Studi di Firenze
Polo Universitario Città di Prato

Riccardo Gori

Polo Universitario Città di Prato
Università degli Studi di Firenze

Stefano Dugheri

Università degli Studi di Firenze
Polo Universitario Città di Prato

ABSTRACT

In un'ottica di continuo recupero e riutilizzo di scarti e sottoprodotti dei vari processi produttivi, per ciò che concerne il processo di gassificazione, gli studi scientifici si sono concentrati particolarmente sulla produzione e l'utilizzo in campo agronomico del biochar. Studi recenti mostrano però come l'elemento innovativo possa essere il distillato di legno, noto anche come acido pirolegnoso o aceto di legno, che invece fino a tempi recenti è stato considerato soltanto uno scarto. Questo prodotto derivante dal processo di piro-gassificazione di biomassa vegetale vergine viene impiegato in campo agronomico a diverse concentrazioni e gradi di purezza come biostimolante, antimicrobico, antiparassitario ed antiossidante. Proprio per questo il presente studio si è focalizzato sulla caratterizzazione e valutazione di aceto di legno con particolare riferimento agli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).

Considerando che i processi di combustione sono una delle principali fonti

di IPA, ne risulta necessario una loro quantificazione anche nel distillato di legno, dato che deriva dal processo di condensazione diretta dei fumi prodotti da processi di combustione, gassificazione o pirolisi. Il presente studio ha caratterizzato il contenuto di IPA mediante analisi GC-MS/MS e pH di N.2 campioni prodotti partendo da differenti matrici vegetali autoctone toscane. I risultati mostrano una concentrazione di IPA superiore ai 130 µg/l, di cui il naftalene ne rappresenta circa il 60%, e pH 2.2 e pH 8.1, quindi opposto nei due campioni.

PAROLE CHIAVE/KEYWORDS: Distillato Di Legno/Wood Distillate, Aceto Di Legno/ Wood Vinegar, IPA/PAH, GC, Economia Circolare/Circular Economy.

1. Introduzione

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) costituiscono un'ampia classe di composti organici, ormai ubiquitari nei diversi comparti ambientali (Armstrong, 2004:970–978), che si formano da numerosi fenomeni, sia naturali che antropici, tra cui la combustione incompleta e la pirolisi di materiali organici. Essi sono caratterizzati, dal punto di vista strutturale, dalla presenza di anelli sia aromatici che non aromatici contenenti atomi di carbonio, condensati in un'unica struttura con disposizione angolare e/o lineare, tra cui il più semplice è il naftalene (C₁₀H₈). Tali composti si presentano in forma solida a temperatura ambiente con punti di fusione (100-280 °C) e di ebollizione elevati (300-500 °C) (Achten, 2015:177–186). La loro tensione di vapore è generalmente bassa ed è inversamente proporzionale al numero di anelli.

Durante una termoconversione di biomassa si può osservare come, al diminuire della temperatura dei fumi, gli IPA aventi peso molecolare più elevato (4 o più anelli), caratterizzati da una bassa tensione di vapore, tendano rapidamente a condensare e a venire adsorbiti dalla superficie delle particelle di fuliggine e di cenere, mentre quelli a minore peso molecolare (2-3 anelli), aventi più elevata tensione di vapore, rimangono parzialmente nella fase di vapore. Quindi nell'aria gli IPA ad elevato peso molecolare si trovano quasi esclusivamente legati al particolato, mentre quelli a basso peso molecolare possono anche trovarsi in fase gassosa (Ohkouchi, 1999:3086-3090).

Data la loro bassa polarità e notevole lipofilicità, questi composti hanno una solubilità in acqua estremamente bassa, e tendono quindi ad adsorbirsi alle particelle solide in suoli e sedimenti marino/fluviali, permanendoci per lunghi periodi (Premnath, 2021).

Lo studio dell'intera classe degli IPA nelle matrici ambientali risulta particolarmente complicato a causa nel numero di composti esistenti e della bassa concentrazione con cui questi si ritrovano. In letteratura gli studi relativi al monitoraggio si riferiscono spesso ad un numero limitato di IPA. La United States Environment Protection Agency (EPA) e la World Health Organization (WHO) hanno identificato, all'interno della classe degli IPA, 16 composti definiti come inquinanti prioritari.

Gli IPA si possono formare durante la lenta maturazione della materia organica (origine petrogenica) e durante la combustione incompleta o la pirolisi di materiali organici (origine pirogenica) (Socolo, 2000: 387-396).

Studi scientifici hanno focalizzato l'attenzione sulla presenza di questi composti nell'atmosfera in quanto giocano un ruolo fondamentale come precursori dell'O₃ fotochimico, responsabile di alterazioni delle funzioni polmonari, e per la riscontrata tossicità di alcuni di essi (Mallah, 2022:133948). In particolare, alcuni IPA sono classificati come "probabilmente cancerogeni per l'uomo" e altri come "possibilmente cancerogeni per l'uomo". Alcuni di essi sono anche classificati dall'EPA (Environmental Protection Agency) come PBTs (Persistent, Bioaccumulable, and Toxic) considerata la loro capacità di accumularsi in suoli e sedimenti e le loro proprietà di bioconcentrazione all'interno degli organismi, con conseguente biomagnificazione nella piramide alimentare.

Essendo gli IPA prodotti derivanti anche dalla pirolisi di materiali organici, studi recenti ne hanno valutato la presenza nel biochar (Wang, 2017:1-11). L'elevata attenzione posta su questo prodotto secondario derivante dalla pirolisi di matrici vegetali, ne ha permesso la valutazione dei possibili impieghi, tra cui troviamo quello agronomico. Ciò ha evidenziato però la necessità di effettuare controlli circa l'eventuale presenza di composti inquinanti che, una volta impiegato il prodotto, possono portare alla contaminazione del suolo o falde acquifere sottostanti. In letteratura sono presenti alcuni studi (Garcia-Perez, 2008) sul potenziale sviluppo di pericolose sostanze tossiche nel biochar come risultato del processo di pirolisi della biomassa e l'impatto potenziale di questi prodotti sull'ambiente. In particolare, è stata studiata la possibile formazione, durante la pirolisi, di policlorodibenzofurani (PCDF), policlorodibenzo-p-diossine (PCDD) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

Come è ormai noto il processo di pirolisi è sempre più impiegato nei processi di produzione di energia da biomassa vegetale e nella valorizzazione degli scarti di produzione, per i vantaggi energetici e la relativa semplicità degli impianti utilizzati. La pirolisi è una reazione di cracking termico della biomassa condotta in assenza di ossigeno che consente di aumentare il tenore di carbonio e idrogeno della carica. Durante la pirolisi la biomassa si decompone generando vapori, aerosol e una frazione minoritaria

di residuo solido (char). Dopo la separazione del solido tramite cicloni, i gas originati dal processo di pirolisi vengono ricondensati mediante rapido raffreddamento e portando alla formazione del cosiddetto distillato di legno.

In un'ottica di applicazione dei principi di economia circolare in ogni settore e processo produttivo, anche in questo caso si mira al continuo recupero di scarti e sottoprodotti derivanti dal processo di ottenimento di energia. Da quanto appena esposto è evidente la presenza di almeno due prodotti che meritano di essere presi in considerazione per valutarne la possibile applicazione: biochar e distillato di legno. Entrambi i prodotti trovano applicazione in campo agronomico. Per ciò che concerne il biochar, un possibile impiego ne prevede l'utilizzo come potenziale ammendante del suolo con molteplici impatti che potrebbero aumentare la sostenibilità, sia come miglioramento delle capacità di accumulo idrico del terreno, che come immagazzinamento del carbonio (Lyon, 2022).

Il biochar ha sempre maggiore impiego in campo agronomico tanto che dal 2015, con l'aggiornamento del 22 giugno dell'allegato 2, è stato inserito nella classificazione degli ammendanti riconosciuti in Italia dal Decreto Legislativo n.75 (29 Aprile 2010) "Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti" (Gazzetta Ufficiale n. 121 del 26 maggio 2010 - Supplemento ordinario) che definisce le caratteristiche per la classificazione e commercializzazione degli ammendanti e dei fertilizzanti.

Considerato l'aumento dell'applicazione di biochar in campo agricolo ed agronomico è stato necessario prendere in considerazione anche i possibili effetti che tale prodotto può avere sul suolo e considerare le possibili contaminazioni che si possono verificare.

Studi hanno riportato la presenza di IPA e diossine nei biochar, dal quale, una volta inserito nel terreno, possono essere trasferiti verso piante e organismi consumatori. Sono state quantificate le concentrazioni totali e biodisponibili dimostrando una notevole variabilità e la loro dipendenza dalla tipologia di biomassa di partenza, dalla temperatura e dal tempo di pirolisi. I risultati mostrano come le concentrazioni di IPA diminuiscono all'aumentare del tempo di permanenza della carica all'interno del forno e della temperatura della pirolisi (Hale, 2012).

Il processo di pirolisi, come precedentemente indicato, genera un ulteriore sottoprodotto: l'aceto di legno o distillato di legno, il quale si presenta in forma liquida ed è ottenuto dalla distillazione del legno o dalla condensazione dei fumi originati alla termoconversione (pirolisi o gassificazione) (Yang, 2016:1150).

Il distillato di legno di solito contiene più dell'80% di acqua e numerosi composti organici come acidi, fenoli e alcoli derivanti dalla termo-degradazione della lignina (Wu, 2015: 98-103). Recenti studi ne stanno valutando le potenzialità di impiego nel settore agronomico

considerando le numerose proprietà ad esso riconosciute: antibatteriche, antimicrobiche ed antiossidante (Yang, 2016:1150). Attualmente risulta impiegato in campo agronomico come corroborante.

Come per il biochar è però necessario valutare e quantificare la presenza di eventuali sostanze nocive o contaminanti che potrebbero, una volta applicato il prodotto, creare accumulo nel suolo ed avere residui anche nei prodotti agricoli ottenuti. Lo scopo del presente lavoro è stato quello di valutare l'eventuale presenza di IPA nel distillato di legno. In particolare è stata effettuata l'identificazione dei composti policiclici aromatici in due campioni di distillato di legno, ottenuti dalla pirolisi di biomasse di partenza differenziate e con diversi parametri del processo di termo conversione.

Inoltre è stata effettuata la valutazione del pH di entrambi i campioni per valutare se si verificasse una variazione anche di questo parametro.

2 Metodologia

2.1 Analisi quali-quantitativa mediante GC-MS/MS

Sono stati selezionati due campioni ottenuti da matrici vegetali differenziate: Campione DL-C-23 e Campione VW-G-23.

I campioni sono stati sottoposti ad estrazione liquido-liquido con esano, quindi è stata effettuata l'anidrifazione dell'estratto per la successiva analisi in GC-MS/MS, tecnica di elezione per la quantificazione di composti semi-volatili in tracce e ultratracce.

Le analisi sono state effettuate usando un gascromatografo Agilent 7890B equipaggiato con uno spettrometro di massa a triplo quadrupolo modello 7000D (Agilent-Technologies, Palo Alto, USA), per la separazione cromatografica è stata utilizzata una colonna J&W VF-5ms 30 m x 0.25 mm i.d. 0.25 μ m (Agilent). Fase mobile: Carrier gas He flusso 1,3 mL/min.

L'identificazione e quantificazione degli idrocarburi policiclici aromatici è stata condotta confrontando il tempo di ritenzione e di risposta con quello di materiali di riferimento, acquisendo in modalità MRM (*Multiple Reaction Monitoring*).

La calibrazione è stata effettuata mediante rette di calibrazione esterna a 4 punti costruite con standard analitici di riferimento ($R^2 = 0.999$).

2.2 Valutazione del pH

La determinazione del pH dei singoli campioni di distillato di legno è stata valutata mediante l'ausilio di un pHmetro Mettler 240 equipaggiato con elettrodo combinato e termocoppia di compensazione della

temperatura (Mettler-Toledo, Ohio, USA), utilizzando le relative soluzioni a pH certificato per la calibrazione dello strumento (Merck, Darmstad, Germania).

Prima di ogni misurazione lo strumento è stato calibrato con le soluzioni a pH 4 e pH 7. Per la misurazione il bulbo dell'elettrodo è stato immerso per almeno 4 cm all'interno del campione e dopo circa 30 secondi è stato identificato il valore di pH.

3 Discussione dei risultati

Il presente studio ha avuto come scopo iniziale quello di identificare e quantificare gli IPA presenti in due campioni di distillato di legno derivanti da biomasse differenziate ed ottenute con variazioni nei parametri di processo.

3.1 Valutazione del contenuto di IPA mediante analisi GC-MS/MS

Le analisi effettuate per la determinazione degli IPA dei singoli campioni ha evidenziato una differenza pari a circa il 10% tra i valori identificati. Ciò potrebbe far ipotizzare che matrici di partenza del processo di gassificazione e variazione dei parametri del processo stesso possono influire sulla generazione di IPA nel distillato di legno.

I risultati mostrano la presenza di idrocarburi policiclici aromatici, con un quantitativo totale pari a 146,1 µg/l nel campione DL-C-23 e 133,1 µg/l nel campione VW-G-23. È stata inoltre valutata la somma totale degli IPA presenti e ritenuti prioritari dall'US-EPA, che sono rispettivamente 125,4 µg/l e 117,4 µg/l.

In Tabella 1 sono riportate le concentrazioni dei singoli idrocarburi policiclici aromatici presenti nei campioni di distillato di legno.

	DL-C-23 (µg/l)	VW-G23 (µg/l)
Naftalene	87.0	81.2
1-metil-naftalene	8.3	9.4
2-metil-naftalene	4.8	2.8
Bifenile	1.7	1.6
2,6-dimetil-naftalene	2.1	1.9
Acenaftilene	6.8	16
Acenaftene	2.1	2.3

2,3,5- trimetilnaftalene	<LOQ	<LOQ
Fluorene	4.4	3.8
Dibenzotiofene	<LOD	<LOD
Fenantrene	7.8	7.7
Antracene	2.1	<LOQ
1-metilfenantrene	<LOQ	<LOQ
Fluorantene	3.0	1.6
Pirene	8.8	4.8
Crisene	<LOQ	<LOD
Benzo[a]antracene	2.5	<LOQ
Benzo[b]fluorantene	<LOQ	<LOD
Benzo[j]fluorantene	<LOQ	<LOD
Benzo[k]fluorantene	<LOD	<LOD
Benzo[e]pirene	3.8	<LOD
Benzo[a]pirene	<LOQ	<LOD
Perilene	<LOD	<LOD
Indeno[1,2,3-cd]pirene	<LOD	<LOD
Dibenzo[a,h]antracene	<LOQ	<LOD
Benzo[ghi]perilene	0.9	<LOD
Somma tot	146.1	133.1
Somma tot US EPA	125.4	117.4

Tabella 1 – Analisi quali quantitativa di IPA presenti nei campioni DL-C-23 e VW-G-23 (dati espressi µg/l)

L'analisi via GC-MS/MS ha permesso di ottenere cromatogrammi per i singoli campioni, come illustrato nella Figura 1, dove sono riportati rispettivamente i cromatogrammi dei campioni e quello relativo agli standard di riferimento.

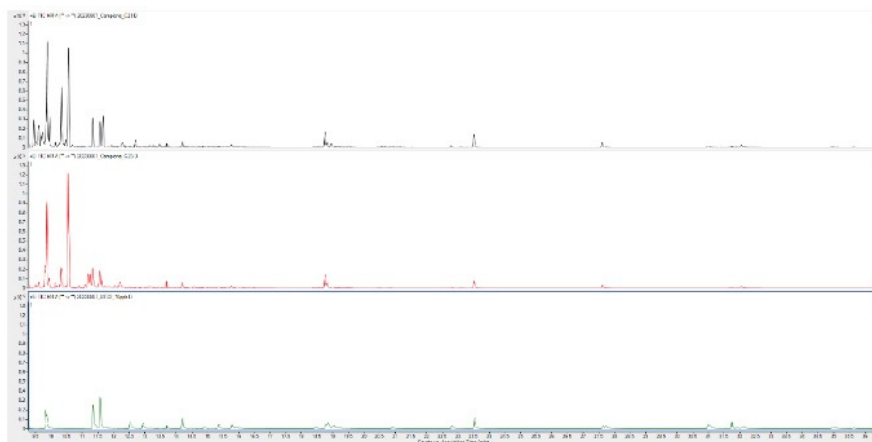


Figura 1 – Cromatogramma di standard di idrocarburi policiclici aromatici e dei campioni di distillato di legno.

Ponendo a confronto i risultati ottenuti per ciascuno degli IPA identificati nei campioni DL-C-23 e VW-G-23 di distillato di legno è possibile evidenziare che il composto maggiormente presente risulta essere il naftalene, con una percentuale di circa il 60-61% sul totale.

Nella Tabella 1 e in Figura 2 è possibile notare come gli idrocarburi maggiormente presenti siano quelli più leggeri con 2, 3 o 4 anelli di benzene. Ciò è dato dalla volatilità di tali composti, che risulta essere maggiore rispetto ad idrocarburi più pesanti con più anelli di benzene e che quindi sono maggiormente presenti nel biochar in forma condensata.

È possibile inoltre evidenziare che tutti i composti sono presenti maggiormente in una quantità seppur non particolarmente significativa nel campione DL-C-23, ad eccezione dell'acenaftilene, che invece risulta essere maggiormente presente nel campione VW-G-23, con un valore che supera del 50% il valore rilevato nel campione di distillato DL-C-23.

In alcuni casi i composti non sono stati rilevati (Dibenzotiofene, Benzo[k]fluorantene, Perilene, Indeno[1,2,3-cd]pirene) o non è stato possibile quantificarli (2,3,5-trimetilnaftalene, 1-metilfenantrene) in entrambi i campioni. Il campione VW-G-23 è quello che presenta un quantitativo inferiore di IPA identificati. In particolare, ne sono stati identificati 16, di cui però 4 hanno riscontrato un segnale non quantificabile.

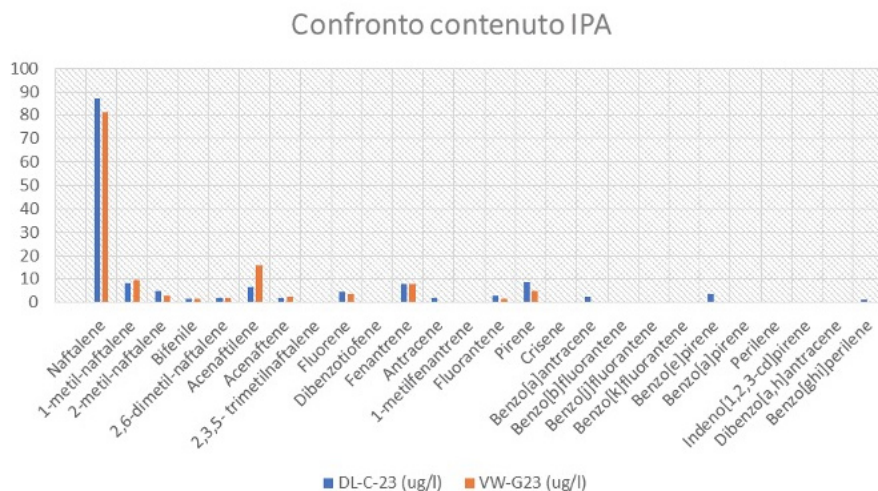


Figura 2 – Confronto dei singoli IPA presenti in entrambi i campioni di distillato di legno: DL-C-23 e VW-G-23.

3.2 Valutazione del pH in campioni di distillato di legno

L'ulteriore test effettuato per il presente lavoro ha permesso di identificare i valori di pH dei campioni di distillato di legno: DL-C-23 e VW-G-23. Come si evince dalla Tabella 2 le due soluzioni presentano dei valori di pH sostanzialmente differenti. In particolare, il campione DL-C-23 risulta essere particolarmente acido (pH=2.2), mentre il campione VW-G-23 risulta essere una soluzione leggermente basica, (pH=8.1).

Il pH del campione DL-C-23 risulta coerente con valori normalmente identificati in letteratura, dove sono presenti risultati che identificano il distillato di legno come una soluzione acida con pH pari ad un valore compreso in un range da 2 a 4. (Ratanapisit, 2009). Il campione VW-G-23 ha evidenziato invece un valore al di fuori del range precedentemente menzionato.

	pH
DL-C-23	2.2
VW-G-23	8.1

Tabella 2 – Valori di pH relativi ai campioni DL-C-23 e VW-G-23

Da tali valori è possibile evidenziare che variazioni di matrici in ingresso dell'impianto e dei parametri di processo della termoconvezione comportino una netta differenziazione del valore del pH raggiunto dal prodotto finale. La differenza di pH è un parametro fondamentale da valutare in sede di formulazione del prodotto da applicare in campo, in quanto gli equilibri acido base dei composti presenti all'interno del distillato possono portare a diverse biodisponibilità delle molecole attive e si deve necessariamente rispettare la finestra di pH idonea per il contatto fogliare o radicale del prodotto, al fine di evitare effetti negativi sulla coltivazione.

4 Conclusioni

I test e le analisi svolte per il presente lavoro hanno dimostrato che matrici di partenza e variazioni di parametri di processo possono influire sui valori rilevati nei campioni di distillato di legno sia relativi alla presenza di IPA che al valore del pH. Occorre porre maggiore attenzione soprattutto su quest'ultimo aspetto, in quanto la variazione dei risultati è particolarmente significativa. I valori rilevati indicano infatti due soluzioni di distillato di legno che si differenziano per essere una soluzione basica ed una soluzione acida. Tali differenze risultano particolarmente importanti in quanto ne determinano anche potenzialità diverse nel settore agronomico, dove è particolarmente utilizzato anche per migliorare il pH del suolo, oltre che come corroborante e come prodotto agronomico biostimolante in grado di aumentare la difesa della pianta.

Riguardo alla presenza di contaminanti ambientali, come gli idrocarburi policiclici aromatici, è necessario valutare il dosaggio di queste sostanze per unità di superficie, in modo da prevenire, nel lungo periodo, una possibile contaminazione del suolo e allo stesso tempo garantire che lo scopo del trattamento alle coltivazioni o al suolo sortisca gli effetti desiderati. Inoltre, una volta definito un dosaggio, sarà importante valutare i livelli di contaminazione di queste molecole all'interno dei prodotti raccolti, per valutare se i residui sono in linea con le recenti normative in ambito di sicurezza alimentare.

In conclusione il distillato come il biochar, essendo prodotti da una vasta gamma di biomasse, presenta al suo interno una grande variabilità in termini di composizione chimica, anche lotto-lotto, dovuta alle possibili modifiche dei parametri di processo termico di produzione degli stessi. Distillato di legno e biochar, ottenuti da una certa biomassa di partenza mediante l'impiego di determinati processi, avranno delle specifiche caratteristiche chimiche, da stabilizzare per arrivare ad un prodotto finale che abbia valori composizionali rientranti in specificati intervalli limite.

Reference

- ACHTEN, C., ANDERSSON, J.T. (2015). Overview of Polycyclic Aromatic Compounds (PAC). *Polycyclic aromatic compounds*, 35(2-4), 177-186. <https://doi.org/10.1080/10406638.2014.994071>
- ARMSTRONG, B., HUTCHINSON, E., UNWIN, J., FLETCHER, T., 2004. Lung cancer risk after exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: a review and meta-analysis. *Environ. Health Perspect.* 112, 970-978. <https://doi.org/10.1289/ehp.6895>
- GARCIA-PEREZ, M., METCALF, J. (2008). The formation of polyaromatic hydrocarbons and dioxins during pyrolysis: A review of the literature with descriptions of biomass composition, fast pyrolysis technologies and thermochemical reactions.
- HALE, S., LEHMANN, J., RUTHERFORD, D., ZIMMERMAN, D.A., BACHMANN, R.T., SHITUMBANUMA, V., O'TOOLE, A., SUNDQVIST, K.L., HANS PETER, H., CORNELISSEN, G., (2012). Quantifying the total and bioavailable PAHs and dioxins in biochars. *Environmental Science and Technology*, DOI: 10.1021/es203984k.
- LYON, S.W., FISCHER, B.M.C., MORILLAS, L., ROJAS CONEJO, J., SÁNCHEZ-MURILLO, R., SUÁREZ SERRANO, A., FRENTRESS, J., CHENG, C.-H., GARCIA, M., JOHNSON, M.S. On the Potential of Biochar Soil Amendments as a Sustainable Water Management Strategy. *Sustainability* 2022, 14, 7026. <https://doi.org/10.3390/su14127026>
- MALLAH, M.A., CHANGXING, L., MALLAH, M.A., NOREEN, S., LIU, Y., SAEED, M., XI, H., AHMED, B., FENG, F., MIRJAT, A.A., WANG, W., JABAR, A., NAVEED, M., LI, J.H., ZHANG, Q. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: An overview. *Chemosphere*, 296, 133948. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133948>
- OHKOUCHI N., KAWAMURA K., KAWAHATA H., Distributions of three and seven rings Polynuclear Aromatic Hydrocarbons on Deep Sea Floor in Central Pacific. *Environmental Scienze Tecnology*, 33 (1999) 3086-3090.
- PREMNATH, N., MOHANRASU, K., GURU RAJ RAO, R., DINESH, G.H., PRAKASH, G.S., ANANTHI, V., PONNUCHAMY, K., MUTHUSAMY, G., ARUN, A. (2021). A crucial review on polycyclic aromatic Hydrocarbons – Environmental occurrence and strategies for microbial degradation. *Chemosphere*, 280, 130608. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130608>

- RATANAPISIT, JURAIVAN, ET AL. "Preliminary evaluation of production and characterization of wood vinegar from rubberwood." *Songklanakarin Journal of Science & Technology* 31.3 (2009).
- SOCLO H.H., GARRIGUES P., EDWALD M., Origin of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Coastal Marine Sediments-Case Studies in Cotomou (Benin) and Aquitaine (France) Areas. *Marine Pollution Bulletin*, 40 (2000), 387-396
- WANG, C., WANG, Y., HERATH, H.M.S.K. (2017). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in biochar – Their formation, occurrence and analysis: A review. *Organic Geochemistry*, 114, 1-11.
- WU, Q., ZHANG, S., HOU, B., ZHENG, H., DENG, W., LIU, D., TANG, W. (2015). Study on the preparation of wood vinegar from biomass residues by carbonization process. *Bioresource technology*, 179, 98-103.
- YANG, J.-F., YANG, C.-H., LIANG, M.-T., GAO, Z.-J., WU, Y.-W., CHUANG, L.-Y. Chemical Composition, Antioxidant, and Antibacterial Activity of Wood Vinegar from *Litchi chinensis*. *Molecules* 2016, 21, 1150. <https://doi.org/10.3390/molecules21091150>

Multifunzionalità di scarti agroindustriali della filiera del melograno applicando principi di economia circolare

Chiara Vita

Università di Firenze

Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

Leonardo Borsacchi

Università degli Studi di Firenze

Patrizia Pinelli

Università degli Studi di Firenze

Annalisa Romani

Università degli Studi di Firenze

ABSTRACT

A livello UE si promuove l'applicazione dei principi di agroecologia nel settore agroalimentare, anche valorizzando l'impiego di sottoprodotti e scarti di specie vegetali, in ottica circolare. L'obiettivo è ridurre gli sprechi e recuperare risorse, contribuendo a un'agricoltura sostenibile e all'efficienza delle pratiche di produzione. Il melograno è una coltivazione di particolare interesse scientifico, considerato che il mesocarpo, endocarpo, esocarpo e semi, cioè la parte non edibile del frutto, rappresenta il 48%, e che dagli estratti derivanti dai suoi scarti (composti quali minerali, vitamine, polifenoli e polisaccaridi) sono riconosciute numerose proprietà biologiche e funzionali (attività antiossidante, antiradicalica, antinfiammatoria e antitumorale) che ne permettono l'utilizzo in settori merceologici differenziati. Questo lavoro ha preso in considerazione la possibilità di frazionare estratti vegetali da *Punica granatum* L., ottenuti da mesocarpo, esocarpo ed endocarpo di frutti provenienti dal centro e dal sud Italia, in particolare da coltivazioni di Lazio e Puglia. A livello metodologico, è stata effettuata l'estrazione della matrice vegetale e un'aliquota di tale estratto è stata sottoposta ad un processo di frazionamento, mediante l'aggiunta di soluzione alcolica, al fine di ottenere un estratto acquoso ricco in composti polifenolici, principalmente tannini idrolizzabili, privo di polisaccaridi. I due estratti così ottenuti sono stati sottoposti a test preliminari (valutazione dell'attività antiradicalica mediante test DPPH e capacità antiossidante totale mediante metodo Folin Ciocalteu) per valutare i potenziali usi sia dell'estratto che della frazione priva di polisaccaridi. Tali sostanze possono difatti trovare impiego come ingredienti alimentari o come matrici di ingresso in settori produttivi differenti da quello food, in una logica di simbiosi industriale.

PAROLE CHIAVE/KEYWORDS: melograno/pomegranate, simbiosi industriale/industrial symbiosis, scarti/waste, principi attivi naturali/natural active ingredients, economia circolare/circular economy.

1 Introduzione

Gli scarti del settore agricolo e agroalimentare (ovvero semi, buccia, sansa) rappresentano le parti non commestibili di frutta e verdura, generati durante le varie fasi del processo produttivo: raccolta, manipolazione, trasporto e lavorazione (Chang, 2006: 354–362). La loro destinazione a rifiuto contribuisce a generare impatti ambientali ed economici negativi. A livello generale, dove operano diverse attività industriali, vengono generati molti diversi sottoprodotti. Pertanto, un ecosistema industriale rappresenta un gruppo di imprese che utilizzano i materiali e i sottoprodotti delle altre, minimizzando la generazione di rifiuti (Glavic e Lukman, 2007) e creando un’iniziativa positiva di simbiosi industriale (Chertow, 2000). Il consumo di energia, materie prime e risorse aggiuntive (compresa l’acqua) è dunque ottimizzato in un ecosistema industriale, con i sottoprodotti di un processo che fungono da materia prima per un altro (Borsacchi et al., 2018). La simbiosi industriale si può dunque definire come il “coinvolgimento di industrie tradizionalmente separate in un approccio collettivo per ottenere un vantaggio competitivo che implica lo scambio fisico di materiali, energia, acqua e/o sottoprodotti” (Ohnishia, Dongb, Gengb, Fujiic, & Fujitac, 2017). È stato valutato che attualmente fino all’87% di frutta, verdura e cereali viene scartato prima di raggiungere i consumatori (Di Sotto, 2019). Questi scarti e sottoprodotti che attualmente rappresentano un problema ed un costo aziendale a causa del loro smaltimento possono invece essere impiegati per l’ottenimento di estratti e frazioni ricchi in composti bioattivi (Pazzotta, 2017:51–59). È noto che diversi scarti colturali, derivanti sia da vegetali, che da cereali e frutta, sono fonte di composti bioattivi, tra cui polifenoli, carotenoidi, terpenoidi, lattoni, glucosinolati, lectine e fibre alimentari (Viuda-Martos, 2010:635–654; Fawole, 2012:425–444; Tresserra-Rimbau, 2018:186–195; Di Sotto, 2016:829–834; Di Sotto, 2018; Altieri, 2019) ai quali sono riconosciute attività biologiche e funzionali di interesse (Al-Said, 2009:129–134; Zengin, 2018; Quan, 2019:643–649; Prasad, 2018), che ne permettono l’impiego in vari settori merceologici.

Nel settore agroalimentare di particolare interesse sono le strategie che prevedono l’impiego e il riutilizzo degli scarti e sottoprodotti come materiale di partenza per l’estrazione di composti polifenolici (Deng, 2012:8308–8323; García-Mier, 2013:4203–4222) per applicazioni future

in campo nutraceutico, farmaceutico, agronomico, alimentare, mangimistico e cosmetico.

Tra le specie vegetali, il melograno genera un notevole quantitativo di scarti durante le fasi di lavorazione per l'ottenimento di prodotti finiti: frutto fresco e trasformato come confetture e succhi.

I frutti del melograno sono costituiti, a seconda della cultivar, per circa il 50 % da esocarpo o buccia, per il 10% da semi e per il 40% da arilli che variano di colore dal bianco al rosso (Paul, 2020:273-283).

Il presente lavoro ha previsto, per valutarne la potenzialità di applicazione in vari settori, la comparazione tra un estratto totale ottenuto da scarti di lavorazione del melograno ed una frazione ricca di polifenoli derivante dalla stessa matrice, ma privata del contenuto di polisaccaridi. L'obiettivo è stato quello identificare le potenzialità della frazione priva di polisaccaridi per riuscire a valutare la possibile applicazione in più settori merceologici. Tale frazione risulta ricca di polifenoli alle quali sono riconosciute numerose proprietà biologiche e funzionali (Cao, 2019). Le frazioni ricche in polisaccaridi, che nel melograno sono composte principalmente da pectine (Gullón, 2020), presentano anche esse numerose proprietà (Cai, 2021:939–949; Hoseny, 2023:575–586; Das, 2021), ma è necessario evidenziare che possono sorgere problemi per l'impiego in alcuni settori dovuti all'insolubilità o scarsa solubilità di tali composti. La loro presenza per la realizzazione di alcuni prodotti può essere un problema dovuto anche alla caramellizzazione a cui tali composti possono andare incontro durante il *processing*. Per tale motivo il presente lavoro, ha previsto la valutazione ed il confronto delle attività funzionali di un estratto totale da scarti di melograno e una frazione ricca di polifenoli, privata di polisaccaridi. In particolare, i due campioni sono stati sottoposti a test ed analisi per la valutazione delle proprietà antiossidanti ed antiradicaliche, per identificare eventuali differenze e relative potenzialità di utilizzo e applicazione.

2 Metodologia

2.1 Preparazione dei campioni

Per il presente studio sono stati selezionati frutti di *Punica granatum* L. (cultivar Wonderful) raccolti in Italia in coltivazioni di Lazio e Puglia.

I frutti selezionati sono stati sgranati, separando gli arilli dal materiale di scarto della produzione agronomica. Parte di questo scarto è stato impiegato per l'ottenimento di un estratto idroalcolico. Un'aliquota di tale estratto è stata successivamente sottoposta ad un processo di frazionamento per l'ottenimento di un estratto ricco di tannini e privo della frazione contenente polisaccaridi.

In particolare 50 g di scarti della lavorazione del melograno (esocarpo, mesocarpo ed endocarpo) sono stati essiccati e micronizzati. Per l'ottenimento dell'estratto un'aliquota pari a 1,25 g è stata estratta in una soluzione idroalcolica costituita da EtOH (etanolo) al 70% e H₂O a pH 3,2 per acido formico (30%). Un'ulteriore aliquota degli scarti micronizzati, pari a 1,28 g, è stata invece disciolta in un volume noto di H₂O e sottoposta a shock termico dopo l'aggiunta di EtOH.

La centrifugazione successiva ha permesso di ottenere quindi una frazione ricca in tannini priva del contenuto di polisaccaridi.

2.2. Valutazione del contenuto di polifenoli totali

Per la valutazione del contenuto di polifenoli totali sia della frazione priva di polisaccaridi che dell'estratto totale di scarti del melograno, sono stati utilizzati test in vitro, applicando il metodo spettrofotometrico di Folin-Ciocalteu. In particolare, i polifenoli totali sono stati determinati come segue: gli estratti idroalcolici di ciascun campione (125 µL) sono stati miscelati con 500 µL di acqua e 125 µL di reagente Folin-Ciocalteu e lasciati riposare per 6 minuti; successivamente sono stati aggiunti alla miscela 1250 µL di una soluzione di carbonato di sodio (7%). Dopo 85 minuti, è stata misurata l'assorbanza dei campioni centrifugati a 725 nm impiegando una miscela idroalcolica come bianco, la quale è stata sottoposta alla stessa procedura precedentemente descritta. Per le misure è stato utilizzato uno Spettrofotometro UV/Vis Lambda 25 (Perkin-Elmer Instruments). La quantità dei fenoli totali è espressa come Acido Gallico Equivalenti (GAE, mg acido gallico per g di campione), attraverso la curva di calibrazione dell'acido gallico. L'intervallo della curva di calibrazione è 10 - 120 µg/ml ($R^2=0,995$).

2.3. Valutazione dell'attività antiradicalica

Per la valutazione dell'attività antiradicalica dei campioni sono stati utilizzati test in vitro, applicando il metodo spettrofotometrico del DPPH (radicale 1,1-difenil-2-picrilidrazil) secondo la procedura descritta da Brand-Williams (1995) apportando piccole modifiche

Più specificatamente, gli estratti sono stati opportunamente diluiti ed è stata aggiunta ad una soluzione etanolica una quantità pari a 1:1 di DPPH (0,04 mg/mL). Le misurazioni sono state effettuate a 517 nm con uno spettrofotometro Lambda 25 (Perkin-Elmer) al tempo 0, dopo 30 sec, 1 min, 90 sec, 2 min e poi ogni 2 min per i successivi 20 min.

L'attività antiradicalica (AR%) è stata calcolata attraverso la seguente relazione:

$$[AR\% = 100 (A_0 - A_{20})/A_0]$$

dove A_0 e A_{20} sono le assorbanze di DPPH, rispettivamente al tempo 0 e 20 minuti, dopo l'aggiunta degli estratti diluiti; l' EC_{50} è la concentrazione dell'estratto di scarti della coltivazione di melograno (mg/mL), necessaria per abbattere il 50% del DPPH.

L' EC_{50} degli estratti è stata determinata utilizzando le curve linearizzate a cinque punti [$AR\% - \ln$ (concentrazione in polifenoli)], costruite determinando $AR\%$ per cinque diverse diluizioni di ciascun estratto e, quindi, calcolando la concentrazione in polifenoli (mg/mL) della soluzione che inibisce l'attività del DPPH al 50%.

L'efficienza antiradicalica (AE) è stata calcolata considerando un precedente lavoro (Mansouri et al., 2005: 411–420), utilizzando la formula: $[1/EC_{50} * 100]$.

3 Discussione dei risultati

3.1. Valutazione del contenuto di polifenoli totali

Il contenuto di polifenoli totali valutato mediante test Folin-Ciocalteu ha evidenziato un valore pari a 42,7 mg GAE/g per il campione di estratto di melograno con presenza di polisaccaridi, mentre la frazione priva di tali composti ha evidenziato un contenuto di polifenoli totali di 42,8 mg GAE/g. Pertanto, i campioni presentano una lieve differenza tra i valori rilevati pari ad una percentuale <1%. Tale percentuale indica quindi che i due campioni non presentano differenze sostanziali relative al contenuto di polifenoli totali.

3.2. Valutazione dell'attività antiradicalica

Per quanto riguarda il test del DPPH, i risultati hanno mostrato attività radicaliche differenziate tra i due campioni. Dai risultati si evince che nonostante il quantitativo di polifenoli totali sia molto simile per entrambi i campioni, per l'attività antiradicalica si nota invece una significativa variazione della percentuale di AAR. Tale differenza è maggiormente rilevabile a concentrazioni più elevate. Infatti, come illustrato nella figura 2, le cinetiche relative all'attività antiradicalica dei campioni ottenuti con un fattore di diluizione pari a 100 risultano quasi sovrapponibili e corrispondenti ad un'attività antiradicalica del 27 e 28%. Ciò non accade invece con fattori di diluizione minori. A titolo di esempio si riporta in figura 1 le cinetiche relative a campioni diluiti 1:10, i quali hanno rilevato AAR pari a 81% per il campione privo di polisaccaridi e 93% per il campione dell'estratto totale di scarti di melograno.

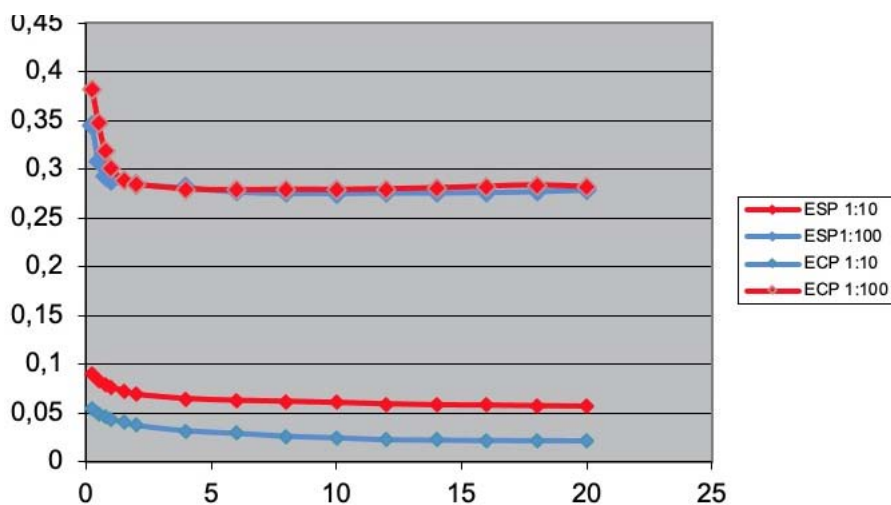


Figura 1 – Confronto tra le cinetiche relative a campioni diluiti 1:100 e 1:10 di estratto totale di scarti del melograno e frazione priva di polisaccaridi

Il test relativo alla valutazione dell'EC50 degli estratti idroalcolici per i campioni ECP ed ESP ha rilevato rispettivamente i seguenti valori 19 mg e 24 mg. Questi dati, corrispondenti alla quantità di matrice vegetale che inibisce il 50% di 1 mg del radicale (DPPH), confermano una maggiore attività antiradicalica del campione con presenza di polisaccaridi. Di conseguenza l'efficienza antiradicalica del campione con polisaccaridi (AE = 0,05) è maggiore rispetto a quella del campione privo di polisaccaridi (AE = 0,04).

4 Conclusioni

Il presente lavoro ha previsto l'ottenimento di un estratto totale, una frazione polifenolica purificata ed una frazione polisaccaridica. Le attività si sono concentrate sul confronto tra l'estratto totale e la frazione polifenolica priva del contenuto di polisaccaridi, per confrontare le proprietà di tali campioni e valutare se l'allontanamento dei polisaccaridi possa influire sulle caratteristiche dell'estratto e le sue proprietà funzionali. L'impiego di una frazione priva di polisaccaridi, infatti, ne permetterebbe diverse applicazioni, ad esempio nel settore nutraceutico, anche in virtù di una più facile manipolazione e trasformazione tecnologica. L'uso di questa frazione come ingrediente alimentare funzionale deve essere accompagnato dall'adozione di specifiche procedure standardizzate di sicurezza igienica e di gestione qualità dei processi produttivi.

Le analisi effettuate sui campioni hanno permesso di evidenziare come entrambi gli estratti presentino un quantitativo apprezzabile di composti polifenolici antiossidanti, che permettono di poter identificare queste matrici derivanti da scarti della coltivazione di melograno per possibili applicazioni in settori merceologici differenziati. Tale esito risulta in coerenza con quanto prevede l'applicazione del concetto di simbiosi industriale. Ciò è maggiormente confermato dai risultati interessanti relativi alla capacità antiradicalica dei campioni, in particolare la maggior capacità antiradicalica rilevata in campioni con presenza di polisaccaridi evidenzia che la sinergia di tali composti con molecole formate da più cicli fenolici condensati porta ad una maggiore attività scavenger nei confronti del radicale stabile DPPH.

Dal punto di vista del processo produttivo si evidenziano risultati interessanti. Il primo è relativo alla possibilità di utilizzare l'estratto totale senza dover prevedere una fase che permetta la separazione di composti polisaccaridici da frazioni polifenoliche, Il secondo aspetto riguarda la possibilità di ampliare l'utilizzo di scarti della coltivazione del melograno, considerando non solo le possibili applicazioni degli estratti ricchi di composti polifenolici ma valutare anche la possibilità di utilizzare queste frazioni purificate sfruttando le potenzialità di applicazione correlate con la frazione ricca di polisaccaridi. Questo aspetto pone le basi per sviluppi futuri relativi all'applicabilità di tale estratto anche in campo biomedico. Inoltre, l'ottenimento delle due frazioni permette sicuramente di ampliare ulteriormente i settori e i campi di applicazione a cui destinare le singole frazioni. Prospettive future infatti prevedono la valutazione dell'utilizzo della frazione ricca in polifenoli in campo nutraceutico e biomedico e l'impiego della frazione polisaccaridica come fibra alimentare o per la produzione di imballaggi sostenibili. Si rimarca infine, che per queste diverse applicazioni delle frazioni ottenute dal melograno, al fine di favorire logiche di simbiosi industriali e di sostenibilità, è auspicabile che le aziende generatrici degli scarti siano localizzate nelle vicinanze di quelle che possono utilizzare, trasformare e valorizzare tali scarti.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano esprimere i loro ringraziamenti all'azienda Supreme Fruit srl per la loro gentile collaborazione.

References

- AL-SAID, F.A., OPARA, L.U., AL-YAHYAI, R.A. Physico-chemical and textural quality attributes of pomegranate cultivars (*Punica granatum* L.) grown in the Sultanate of Oman. *J. Food Eng.* 2009, 90, 129-134.
- ALTIERI, F., CAIRONE, F., GIAMOGANTE, F., CARRADORI, S., LOCATELLI, M., CHICHIARELLI, S., CESA, S. Influence of Ellagitannins Extracted by Pomegranate Fruit on Disulfide Isomerase PDIA3 Activity. *Nutrients*. 2019, 11, 186.
- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E., BERSET, C.L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- BHATNAGAR, A., SILLANPÄÄ, M., WITEK-KROWIAK, A. (2015). Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification—A review. *Chemical engineering journal*, 270, 244-271.
- BORSACCHI, L., BARBERIS, V., PINELLI, P. (2018). Circular economy and industrial symbiosis: The role of the city of Prato within the EU Urban Agenda partnership”. *Proceedings of the 24th International Sustainable Development Research Society Conference. Actions for a sustainable world: from theory to practice.* 13-15 June 2018, Messina (Italy), pp. 716-722.
- CAI, M., ZHANG, G., LI, C., CHEN, X., CUI, H., LIN, L. (2021). Pleurotus *eryngii* polysaccharide nanofiber containing pomegranate peel polyphenol/chitosan nanoparticles for control of *E. coli* O157:H7. *International journal of biological macromolecules*, 192, 939-949. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.069>.
- CAO, Y., CHEN, J., REN, G., ZHANG, Y., TAN, X., YANG, L. (2019). Punicalagin Prevents Inflammation in LPS-Induced RAW264.7 Macrophages by Inhibiting FoxO3a/Autophagy Signaling Pathway. *Nutrients*, 11(11), 2794. <https://doi.org/10.3390/nu11112794>.
- CHANG, J.I., TSAI, J.J., WU, K.H. Composting of vegetable waste. *Waste Manag. Res.* 2006, 24, 354-362.
- CHERTOW M.R. (2000). Industrial symbiosis: literature and taxonomy. *Annual review of energy and the environment*, 25(1), pp. 313-337.
- DAS, A.K., NANDA, P.K., CHOWDHURY, N.R., DANDAPAT, P., GAGAOUA, M., CHAUHAN, P., PATEIRO, M., LORENZO, J.M. (2021). Application of Pomegranate by-Products in Muscle Foods: Oxidative Indices, Colour Stability, Shelf Life and Health Benefits. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(2), 467. <https://doi.org/10.3390/molecules26020467>.

- DENG, G.F., SHEN, C., XU, X.R., KUANG, R.D., GUO, Y.J., ZENG, L.S., GAO, L.L., LIN, X., XIE, J.F., XIA, E.Q., ET AL. Potential of fruit wastes as natural resources of bioactive compounds. *Int. J. Mol. Sci.* 2012, 13, 8308-8323.
- DI SOTTO, A., DI GIACOMO, S., AMATORE, D., LOCATELLI, M., VITALONE, A., TONIOLO, C., ROTINO, G.L., LO SCALZO, R., PALAMARA, A.T., MARCOCCI, M.E., ET AL. A Polyphenol Rich Extract from *Solanum melongena* L. DR2 Peel Exhibits Antioxidant Properties and Anti-Herpes Simplex Virus Type 1 Activity in Vitro. *Molecules* 2018, 23, 2066.
- DI SOTTO, A., DI GIACOMO, S., TONIOLO, C., NICOLETTI, M., MAZZANTI, G. *Sisymbrium Officinale* (L.) Scop. and its Polyphenolic Fractions Inhibit the Mutagenicity of Tert-Butylhydroperoxide in *Escherichia Coli* WP2uvrAR Strain. *Phytother. Res.* 2016, 30, 829-834.
- DI SOTTO, A., LOCATELLI, M., MACONE, A., TONIOLO, C., CESA, S., CARRADORI, S., EUFEMI, M., MAZZANTI, G., DI GIACOMO, S. Hypoglycemic, Antiglycation, and Cytoprotective Properties of a Phenol-Rich Extract From Waste Peel of *Punica granatum* L. var. Dente di Cavallo DC2. *Molecules* 2019, 24, 3103.
- FAWOLE, O.A., OPARA, U.L., THERON, K.I. Chemical and phytochemical properties and antioxidant activities of three pomegranate cultivars grown in South Africa. *Food Bioprocess Technol.* 2012, 5, 425-444.
- GARCÍA-MIER, L., GUEVARA-GONZÁLEZ, R.G., MONDRAGÓN-OLGUÍN, V.M., DEL ROCÍO VERDUZCO-CUELLAR, B., TORRES-PACHECO, I. Agriculture and bioactives: achieving both crop yield and phytochemicals. *Int. J. Mol. Sci.* 2013, 14, 4203-4222.
- GLAVIC, P., LUKMAN, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions, *Journal of Cleaner Production*, 15, 1875-1885.
- GULLÓN, P., ASTRAY, G., GULLÓN, B., TOMASEVIC, I., LORENZO, J.M. (2020). Pomegranate peel as suitable source of high-added value bioactives: Tailored functionalized meat products. *Molecules*, 25(12), 2859.
- HOSSENY, S.S., SOLIMAN, A.M., FAHMY, S.R., SADEK, S.A. (2023). Development of a Novel Pomegranate Polysaccharide Nanoemulsion Formulation with Anti-Inflammatory, Antioxidant, and Antitumor Properties. *Current drug delivery*, 20(5), 575-586. <https://doi.org/10.2174/1567201819666220509161548>.
- MANSOURI, A., EMBAREK, G., KOKKALOU, E., KEFALAS, P. (2005). Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*) *Food Chemistry* 89, 411-420.

- OHNISHIA, S., DONGB, H., GENGB Y., FUJIIC, M., FUJITAC T. (2017). A comprehensive evaluation on industrial & urban symbiosis by combining MFA, carbon footprint and emergy methods Case of Kawasaki, Japan, *Ecological Indicators*, 73, 514-515.
- PAUL, A., RADHAKRISHNAN, M. (2020). Pomegranate seed oil in food industry: Extraction, characterization, and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 273-283.
- PLAZZOTTA, S., MANZOCCO, L., NICOLI, M.C. Fruit and vegetable waste management and the challenge of fresh-cut salad. *Trends Food Sci. Technol.* 2017, 63, 51-59.
- PRASAD, K.N., BONDY, S.C. Dietary Fibers and Their Fermented Short-Chain Fatty Acids in Prevention of Human Diseases. *Mech. Ageing Dev.* 2018, 17, 100170.
- QUAN, N.V., XUAN, T.D., TRAN, H.D., AHMAD, A., KHANH, T.D., DAT, T.D. Contribution of momilactones A and B to diabetes inhibitory potential of rice bran: Evidence from in vitro assays. *Saudi Pharm. J.* 2019, 7, 643-649.
- TRESSERRA-RIMBAU, A., LAMUELA-RAVENTOS, R.M., MORENO, J.J. Polyphenols, food and pharma. Current knowledge and directions for future research. *Biochem. Pharmacol.* 2018, 156, 186-195.
- VIUDA-MARTOS, M., FERNANDEZ-LOPEZ, J., PEREZ-ALVAREZ, J.A. Pomegranate and its many functional components as related to human health: A review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2010, 9, 635-654.
- ZENGIN, G., MENGHINI, L., DI SOTTO, A., MANCINELLI, R., SISTO, F., CARRADORI, S., CESA, S., FRASCHETTI, C., FILIPPI, A., ANGIOLELLA, L., ET AL. Chromatographic Analyses, In Vitro Biological Activities, and Cytotoxicity of Cannabis sativa L. Essential Oil: A Multidisciplinary Study. *Molecules* 2018, 23, 3266.

Nutrition and sustainability in the agro-industrial supply chain. A comparative approach for conventional, organic and functional pasta production

Nicola Minafra
University of Bari “Aldo Moro”
Tiziana Crovella
University of Bari “Aldo Moro”
Giovanni Lagioia
University of Bari “Aldo Moro”
Annarita Paiano
University of Bari “Aldo Moro”

ABSTRACT

The concept of nutritional sustainability was established in recent years and it aims to interconnect human health and safety of the planet, protecting and promoting biodiversity, food safety, low environmental impact and functionality of food.

Functional food represents one of the key factors of this approach and a successful factor as well for a global market that is expected to reach 259.7 billion dollars by 2027, with a growth of 8.5% yearly.

The aim of this paper is the development of a framework which allows the comparison of the environmental and nutritional sustainability of food, particularly, pasta. It can also be redesigned as a vehicle for bioactive compounds or nutrients that are not sufficiently consumed in the daily diet, but generate positive effects on the metabolism and also mitigate the inflammatory states.

Focusing on the agricultural phase, which generates the greatest impact from an environmental point of view, the authors of this paper decided to compare conventional durum wheat pasta, organic pasta and functional pasta with legumes, based on the methodology of the Life Cycle Assessment (LCA). A qualitative-quantitative evaluation of the various types of pasta will be carried out to determine the most sustainable option from economic, nutritional and environmental point of view.

KEYWORDS: Life cycle analysis; agro-industry; crops; pasta; sustainability; nutrition

1 Introduction

Globally the demand for food is constantly increasing and, to address the needs of a world population growth that will reach 9.7 billion inhabitants in 2050, agriculture consumes many natural resources in an unsustainable manner. Particularly, agriculture consumes 70% of water resources for food production and cultivation crops. (Crovella et al., 2022). Within agro-industry, dry pasta production produced an impact of carbon footprint equal of 1.33 kgCO₂eq. for 1 kg of product (Barilla, 2017; Cimini et al., 2020). Global agri-food systems emit about 31% of total anthropogenic emissions. (Tubiello et al., 2022)

From economic perspective, the global market of dry pasta production amounts to 131.40 billion \$ in 2023 with an expected growth of 185.7 billion \$ for 2028 (Statista, 2023). Italy is the global top producer, as well as the EU Member State leader in pasta production generating, in 2021, about 3.9 million metric tons of pasta, which is around 30% of the total production in the world, as shown in Fig.1 (Statista, 2023.). Italy is also the top EU exporter: particularly, in 2022, it exported pasta with a turnover of nearly 4 billion \$, of which about 630 million \$ from Germany, followed by the United States with 620 million \$ (Statista, 2023).

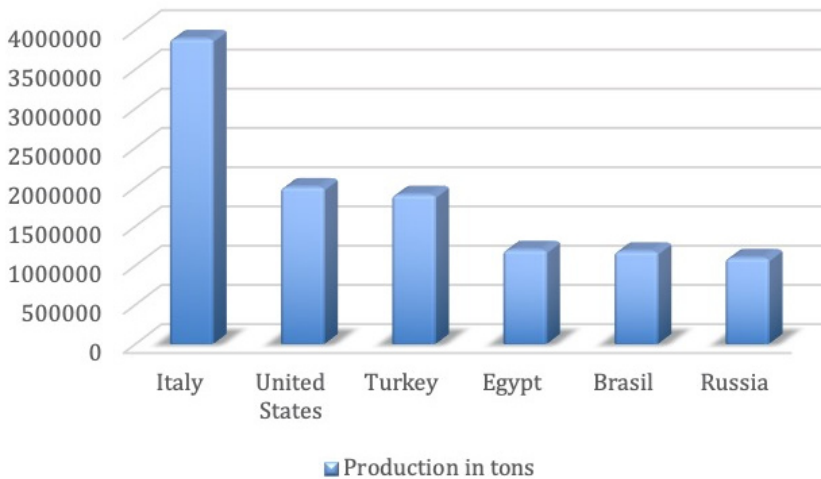


Figure 1 – Pasta production for countries in 2021

Source: Statista, 2023

The growth of the world population, as above mentioned, is also increasing the demand for protein-rich foods. For this reason, food manu-

facturers are looking for new sources of proteins, such as microalgae and legumes, to meet this growing demand (Van der Stricht, 2023). Furthermore, particularly in the last ten years, functional pasta has come to market. Whilst conventional pasta includes soft wheat semolina pasta, durum wheat (DW) semolina pasta, whole meal pasta, egg pasta, dry pasta and fresh pasta, functional pasta is produced with a partial or total substitution of wheat grain flour with different ingredients as sources of protein, such as chickpeas, hemp, soy, lentils, mushroom powder, quinoa protein isolate and different kinds of algae, like spirulina (Axentii et al., 2023). According to ILSI Europe (2002), functional food can be defined as “a food product if together with the basic nutritional impact it has beneficial effects on one or more functions of the human organism thus either improving the general and physical conditions and decreasing the risk of the evolution of diseases”.

Moreover, the pasta production can be both produced through conventional or organic agricultural systems. The first of which involves the use of a mineral fertilization and chemical weed control, conversely, the second uses an organic fertilization and biological fight for the weed control (Fagnano et al., 2012) and is conducted in compliance with standards for organic farming. In this context, the environmental performance of pasta is assessed with the LCA (Life Cycle Assessment) methodology. The LCA methodology aims to assess the environmental burdens associated with a product, process, or activity through the identification of energy and materials used and wastes released to the environment, so it can be useful to analyse pasta production (SETAC, 1991). The main goal of this methodology is the description and quantification of the interactions of a product or a process with the environment, so it is considered the better approach to make sustainable decisions and improvements. Particularly, LCA is composed of several interrelated phases: goal definition and scoping, inventory analysis, impact assessment, interpretation and improvement assessment. LCA is increasingly used as a policy tool for the correct management of the territory, not only for the environment, but also for social and economic issues.

The authors of this paper compare conventional durum wheat pasta, organic pasta and functional pasta made from legumes, based on the LCA methodology. A qualitative-quantitative evaluation of the various types of pasta will be carried out to determine the most sustainable option from economic, nutritional and environmental point of view. This approach is closely connected to the objectives to be promoted by the Agenda 2030. In particular, Goal n. 2 and Goal n. 12 aim to achieve food security, improve nutrition, promote sustainable agriculture, ensure sustainable production models and consumption. By 2030, the main scope is to ensure sustainable food production systems and apply resilient agricultural prac-

tices. Both of them increase productivity and production, ecosystems conservation, strengthen the capacity of adapting to climate change, extreme weather, drought, floods and other disasters, and which progressively improve the soil and the quality of the soil.

2 Literature review

In literature, Diaz et al. (2020) developed an analysis of the functional pasta regulatory framework, focused on the United States (US), Japan and Europe as the main representative countries of the functional foods market, with the aim of informing the food industry and to induce consumers to make more informed choices.

Saget et al (2020) carried out a life cycle assessment of pasta with chickpeas (functional pasta) and conventional DW pasta from cradle to fork to demonstrate the environmental benefits of functional pasta in relation to conventional pasta. Functional pasta is more sustainable than conventional DW pasta. In particular, 10 of the 16 impact categories considered, identifying 80 g of pasta as Functional Unit (FU) and 15 of 16 impact categories, considering the Nutrient Density Unit (NDU) as FU, had lower environmental values for the functional pasta. Furthermore, functional pasta has a higher nutritional content than conventional durum wheat pasta, contains 1.5 more protein, about 3 times more fibers and 8 times more essential fatty acids than DW pasta for kcal energy content. Lee A. et al (2021) implemented a LCA to estimate the GHG emissions of two functional foods, with results of around 20–30% of emissions for the manufacturing stage and around 70–80% to produce raw ingredients for both products. The production of raw ingredients is the most impactful phase from an environmental point of view, due particularly to the emissions in agriculture.

Agriculture has an important role to mitigate the climate change, it is necessary to make agricultural practices more sustainable to produce raw materials. The greenhouse emissions in agriculture are about 35% of total GHG emissions and there is a high exploitation of water resources, also due to the constant increase of global population (Casolani et al., 2016). These authors assessed the problem of water consumption and GHG emissions in durum wheat cultivation, analysing the wheat production from 2011 to 2015 in North, Centre and South of Italy. Chiriaco et al (2017) compared GHG emissions of conventional and organic agriculture, using the carbon footprint (CF) indicators by the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. Results of the study demonstrate that organic farming for wheat cultivation in Italy is a low-carbon agriculture with a

lower contribution to climate change in terms of GHG emissions per hectare respect to the conventional wheat cultivation, although implications of the reduced productivity and the consequent need of more cultivated land should be considered. Suciu et al. (2019) investigated the differences between conventional and organic foods thought nutritional aspects, environmental impacts and consumer perception. Consumers prefer organic products, despite a higher price, however the authors suggest other environmental and nutritional evaluations between organic and conventional products, as the range of data in the literature is limited. Migliore et al (2022) underlined how organic agriculture must have the task of providing healthy and nutritional products which take into account the emerging ones eating habits of consumers, increasingly oriented towards foods with greater nutritional and functional values, do not compromise the principles underlying organic agriculture.

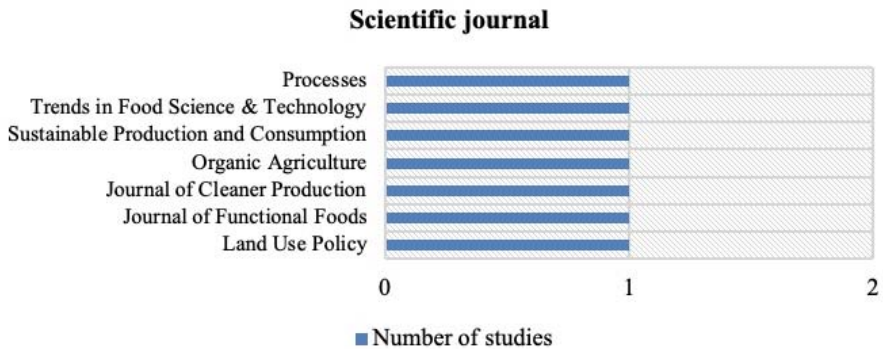


Figure 2 – Number of studies retrieved for scientific journal

Source: Authors' elaboration

Observing the scientific production during 2016-2000 emerged seven mainly journals (Fig. 2) that published an article per year, excepted 2020 with 2 papers (Fig. 2).

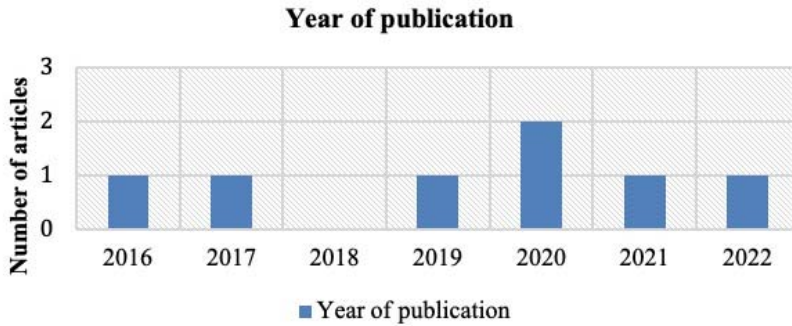


Figure 3 – Number of studies retrieved for year of publication
Source: Authors' elaboration

Therefore, as Fig. 2 and Fig. 3 shown, the scientific interest can be increased proposing the present paper that focused on pasta production according conventional and organic cultivation. Hence, this study adds new scientific insights, comparing two particular crops used for this production. Particularly, after analysing durum wheat pasta, the scholars focused on lentil pasta, stimulating the scientific interest in the nutritional and environmental aspects of functional pasta production.

3 Methodology

In this research, the authors used an impact analysis for comparing pasta production (Fig. 4). Particularly, they used some indicators related to DW and lentils production, both in conventional and organic cultivation. The methodology proposed by Sword et al. (2023) was considered in this paper.

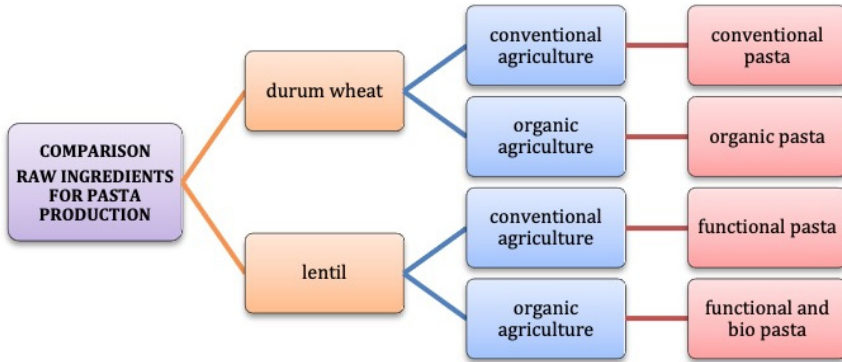


Figure 4 – Crops and products considered in the methodological path

Source: Authors' elaboration.

In this context, they developed several studies steps (Fig. 5): firstly, they analysed the economic aspect related to conventional and organic raw ingredients focusing on the market prices. Subsequently, they assessed the environmental aspects of these products, evaluating some impacts provided mainly by LCAs studies. The authors comparing Carbon Footprint (CF) and Water Footprint (WF) indicators for the selected raw ingredients.

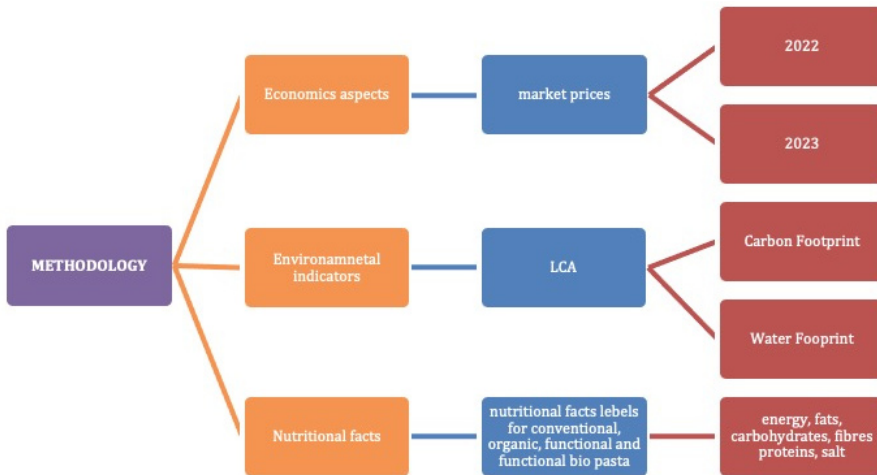


Figure 5 – Methodological path

Source: Authors' elaboration

The CF was defined as the greenhouse gas (GHG) emissions associated with the life cycle of that product and it is calculated from cradle to grave. As a general rule, it is expressed as the amount of CO₂eq for a previously defined unit of measurement. (Casolani et al., 2016). The WF concept was introduced for the first time in 2002 by Hoekstra, and it translated human consumption into natural water resource use in m³/y” by Crovella et al. (2022) Lastly, the nutritional values are considered: energy, fats, carbohydrates, fibres, proteins, salt.

4 Comparative evaluation of pasta production

In this section authors carried out a comparison on three levels: firstly, they analysed the market prices practiced in the Southern Italy, in the city of Bari. Then, they assessed the nutritional data associated to conventional, organic and functional pasta production. Lastly, the scholars indicated the environmental impact associated to these products.

These comparisons provided a snapshot of the changes occurred in the pasta production system. Particularly, considering the price of the raw ingredients which can be used to produce pasta, it emerged that at national level conventional durum wheat market price decreased from 2022 to 2023 up to 100 € for ton. Moreover, also organic durum wheat reduced by more than 100 € (Tab. 1). In 2021, the total Italian production of durum wheat was 4,137,326 tons, clean harvested production 4,065,070 tons (Istat, 2023), whereas 17,353 tons of organic durum wheat was imported. (Sinab, 2023). Furthermore, considering the importation, the majority of conventional durum wheat comes from Canada and it presents a quantity of proteins between 12% and 15 %.

Conventional raw material			Organic raw Material		
crop	Prices (2022)	Prices (2023)	crop	Prices (2022)	Prices (2023)
national durum wheat	488-493	364-374	national durum wheat	506-511	374-384
imported durum wheat	498-504	482-486	imported durum wheat	n.a.	n.a.
national lentil	980-1,030	870-920	national lentil	1,130-1,180	1,130-1.180

imported lentil	1,225-1,275	1,275-1,325	imported lentil	n.a.	n.a.
-----------------	-------------	-------------	-----------------	------	------

Table 1 – Comparison of market prices (€/ton)

*surveys by Bari chamber of Commerce at 03 October 2023 and 04 October 2022

Source: Authors elaboration on data Bari chamber of Commerce (2022, 2023)

For lentils market, the price at national level for conventional product decreased around 100 € from 2022 to 2023, but for organic lentil the price remained constant.

The evidences displayed by Table 1, underlined that lentils market price is higher than durum wheat. Despite that, the production costs of functional pasta, in Italy there is a significant segment of the Italian population willing to pay a premium price for pasta enriched with legumes and other natural materials as spirulina alga (Fantechi et al., 2023).

Nutritional values	Conventional Pasta (Sgambaro)	Organic Pasta (Sgambaro Bio)	Functional Pasta (Pasta of Red Lentil Barilla)	Functional Bio Pasta (Pasta of Red Lentil Andriani Bio)
Energy (kcal/kJ)	1512/357	1512/357	1416/335	1412/334
Fats (saturated fats) (g)	1.5 (0)	1.5 (0.2)	2.4 (0.5)	1.7 (0.4)
Carbohydrates (Sugars) (g)	70 (1.4)	71.5 (1.4)	47.4 (1.8)	50 (1.2)
Fibres (g)	3.5	3.5	12	7.6
Proteins (g)	14	12.5	25	26
Salt (g)	0.001	0.003	0.003	0

Table 2 – Comparison of nutritional values (0.1 kg of pasta)

Source: Authors elaboration on data from Sgambaro, Barilla and Andriani.

As shown in Tab. 2, the functional pasta, produced through conventional or organic cultivation, presented a reduction of around 6% of kcal and 47.68% of carbohydrates to conventional pasta and 43% of carbohydrates to pasta bio. Conversely, functional pasta contains more fibres and proteins with respect to conventional pasta. Particularly, the functional pasta with red lentil Barilla has 3 times more fibres and 2 times of proteins respect to the conventional Sgambaro pasta. Moreover, the functional pasta provides

other nutrients as iron or phosphorus. For example, functional pasta bio Andriani with red lentil contains 5.2 mg of iron, 310 mg of phosphorus, 3.2 mg of zinc and 1 mg of manganese.

Indicators	Conventional Wheat	Organic Wheat	Conventional Lentil	Organic Lentil
Yield	5.5 t/ha	2.5 t/ha	0.56 t/ha	0.82 t/ha
Carbon Footprint	1,985 kgCO ₂ eq/ha	1,160 kgCO ₂ eq /ha	620 kgCO ₂ /eq ha	420 kgCO ₂ eq/ha
Water Footprint	5,327 m ³ /ha	2,500 m ³ /ha	3,453 m ³ /ha	4,698 m ³ /ha

Table 3 – Comparison of main environmental impacts

Source: Authors elaboration on data from Casolani et al. (2016), Chiriaco et al. (2017), Annata Agraria 2019 Andriani

From agricultural point of view (Tab. 3), observing the crops cultivation and considering the FU of 1 kg of raw ingredients, the scholars underlined that the higher yield outlined by conventional durum wheat; the lowest by conventional lentil. In terms of main environmental impacts, conventional wheat generated 3 times more GHG emission of conventional lentil. While, organic wheat impacted 176% more than organic lentil production. Lastly, the organic wheat production used the lowest water consumption.

5 Discussion

Nowadays agricultural practices are constantly changing for addressing the need of nutrition, sustainability, health and protection of the planet. For these reasons, recently, there has been a growing interest in functional foods which has led to research into nutraceutical sources, discovering microalgae, in particular spirulina due to its high protein content, essential amino acids and rich content of minerals and vitamins (Fantechi et al., 2023) as a promising option, or foods with higher level of nutrients like legumes.

In these years, observing the consumers choices, legume pasta is one of the food industry's latest responses to satisfy consumer demand for healthy and sustainable foods. Among the legumes on the market, red lentils and chickpeas are the preferred raw ingredients for making 100% legume pasta. In 2021, the total harvested legume production was 5,086

tons (5,008 tons clean without waste), but it must be underlined that more than half of the legume consumption in Italy is imported mostly from Iraq and Syria (Istat, 2023).

Although differences in the starch dough profile and overall protein organization were found among commercial pasta samples, the best performing pasta is the one made with lentils. It showed a protein network characterized by a more compact structure and regardless of the manufacturer, the lentils gave the pasta with the best cooking behavior (low cooking loss and high consistency) (Bresciani et al., 2022).

As emerged in the survey by Marette and Roosen (2022), receiving information on the nutritional aspects of pasta significantly influenced purchase intention. However, information about the environmental benefits of food often had a greater impact on purchase intention than information about the nutritional benefits of food. Since consumer choices represent a weak driver for the development of legumes cultivation, other instruments that focus on incentives for farmers, such as subsidies, could be selected.

6 Conclusion, Practical Implication and Project Outcomes

This paper presented an assessment of the pasta production systems, focusing on conventional and organic crops. Particularly, it emerged that from agricultural point of view the conventional durum wheat is still the preferable raw material with a higher yield useful to satisfy the growing global population. While this crop is also the most impactful for the environment. Conversely, lentil has a lower yield, a higher market price, but higher nutritional values and lower environmental impact. Moreover, the authors found no differences in nutritional terms between conventional and organic pasta production. On the contrary, these are more significant in the production of functional pasta with legumes.

Finally, the best performance in pasta production system can be the pasta produced with legumes arising from organic cultivation, because the higher nutritional advantages are connected to lower environmental impact and resources consumption.

Despite the limitations related to the collection data stage, this study stimulated the knowledge of the environmental impact of conventional and organic cropping systems, focusing on the largest agri-food Italian system as pasta production. The comparisons are useful to observe the systems of pasta production and for providing the best options for Made in Italy reducing environmental impacts and increasing the nutrients in the Mediterranean diet. Moreover, this kind of analysis is replicable for other crops and several agri-foods sectors, to support practitioners and all stake-

holders involved in the agricultural supply chain.

Furthermore, to apply sustainable agricultural practices, it is desirable using the LCA analysis methodology. However, nowadays it is essential to carry out further research with the aim to develop a common and standardized framework for the application of this approach, both on the inventory and impact assessment stages. For this reason, the knowledge of data from the cultivation stage to the final consumption, in the system boundary from cradle to grave, is a key element for designing more sustainable agricultural systems.

Funding

This research was funded by “Progetto GRINS “Growing Resilient, Inclusive and Sustainable” cod. Id. PE0000018–CUP H93C22000650001–Finanziato nell’ambito del PNRR–Missione 4–Componente 2–Investimento 1.3–Unione Europea–Next Generation EU” with the aim of “Building of dataset for the circular economy of the main Italian production systems”, Spoke 1, WP3.

Data Availability Statement

Not applicable.

Acknowledgments

This research was performed under “Progetto GRINS “Growing Resilient, Inclusive and Sustainable” cod. Id. PE0000018–CUP H93C22000650001–Finanziato nell’ambito del PNRR–Missione 4–Componente 2–Investimento 1.3–Unione Europea–Next Generation EU”. Department of Economics, Management and Business Law, University of Bari Aldo Moro–Spoke 1, WP3, Code PNRR_PE_71, Thematic: Building of datasets for the circular economy of the main Italian production systems.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Authors contributions: XXX

Conceptualization, software, formal analysis, investigation, resources, data curation, writing—original draft preparation. XXXX: methodology, validation, formal analysis, investigation, resources, data curation, writing—original draft preparation. XXXX: writing—review and editing, visualization. XXXX: validation, supervision, project administration, funding acquisition. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

References

- BRESCIANI, A., IAMETTI, S., DAVIDE, E., MARTI, A., BARBIROLI, A. (2022). Molecular features and cooking behaviour of pasta from pulses, *Cereal Chemistry*, 99 (2), 270-274, 10.1002/cche.10490.
- CASOLANI N., PATTARA, C., LIBERATORE L. (2016). Water and Carbon footprint perspective in Italian durum wheat production, *Land Use Policy*, 58, pp. 394-402. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.07.014>.
- CHIRIACO, M.V., GROSSI, G., CASTALDI S., ET AL. (2017). The contribution to climate change of the organic versus conventional wheat farming: A case study on the carbon footprint of wholemeal bread production in Italy, *Journal of Cleaner Production*, 153, pp. 309-319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.111>
- CROVELLA, T., PAIANO, A., LAGIOIA, G. (2022). A meso-level water use assessment in the Mediterranean agriculture. Multiple applications of water footprint for some traditional crops. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129886. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129886>.
- DÍAZ, L.D., FERNÁNDEZ-RUIZ, V., CÁMARA, M. (2020). An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labelling. *Journal of Functional Foods*, Vol. 68, 103896. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103896>.
- FANTECHI, T., CONTINI, C., CASINI, L. (2023). Pasta goes green: Consumer preferences for spirulina-enriched pasta in Italy, *Algal Research*, 75, 103275, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103275>.
- ISTAT (2023). Datawarehouse for agriculture. <https://www.istat.it/>
- LEE, A., WANG, L., LO, S.F. (2021) Life Cycle Assessment of Functional Food: Improving Sustainability in the Biotechnology Industry through Transparency, *Processes*, 9(12), 2130; <https://doi.org/10.3390/pr9122130>
- MARETTE, S., ROOSEN, J. (2022). Just a little bit more legumes! Results of an online survey in Europe, *International Food and Agribusiness Management Review*, 25(2), 329-345, 10.22434/IFAMR2021.0071.
- MIGLIORE, G., RIZZO · A. BONANNO ET AL. (2022) Functional food characteristics in organic food products—the perspectives of Italian consumers on organic eggs enriched with omega-3 polyunsaturated fatty acids, *Organic Agriculture*, 12, pp. 149-161.
- SAGET, S., COSTA, M., BARILLI, E., ET AL. (2020), “Substituting wheat with chickpea flour in pasta production delivers more nutrition at a lower environmental cost”, *Sustainable Production and Consumption*, Vol.24, pp. 26-38.

- SINAB 2023 <https://www.sinab.it/>
- SUCIU, N.A., FERRARI, F., TREVISAN, M. (2019) Organic and conventional food: Comparison and future research. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 84, pp. 49-51. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.008>.
- STATISTA, 2023 <https://www.statista.com/outlook/cmo/food/bread-cereal-products/pasta/worldwide>
- SWORD, J., GALLOWAY, A., TOUMPIS, A. (2023). An environmental impact comparison between wire + arc additive manufacture and forging for the production of a titanium component, *Sustainable Materials and Technologies*, 36, e00600. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00600>.
- TUBIELLO, F.N., KARL, K., FLAMMINI, A. ET AL (2022). Pre- and post-production processes increasingly dominate 2 greenhouse gas emissions from agri-food systems, *Earth System Science Data*, 14(4). <https://doi.org/10.5194/essd-14-1795-2022>
- VAN DER STRICHT, H., PROFETA, A., HUNG, Y., VERBELE, W. (2023). Consumers' willingness-to-buy pasta with microalgae proteins – Which label can promote sales?, *Food Quality and Preference*, 104948, <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104948>.

Olivicoltura circolare: prodotti innovativi funzionali per la salute e lo sport

Silvia Urciuoli

Università degli Studi di Firenze

Chiara Cassiani

Università degli Studi di Firenze

Pamela Vignolini

Università degli Studi di Firenze

Patrizia Pinelli

Università degli Studi di Firenze

ABSTRACT

Il progetto BioSynol – Olio e Leguminose: colture bio-sinergiche per alimenti naturalmente fortificati e prodotti innovativi per la salute e per lo sport finanziato dal Piano Strategico di Gruppo Operativo 2014-2020 della Regione Toscana, ha avuto come obiettivo la valorizzazione della filiera olivicolo-olearia toscana anche mediante l'applicazione di principi di economia circolare. La valorizzazione dell'intera filiera è iniziata in campo grazie alla messa in coltura sinergica di oliveti con leguminose autoctone al fine di migliorare la qualità del prodotto olio extravergine di oliva (EVO) toscano biologico e sinergico caratterizzato da un elevato contenuto di polifenoli. Mediante un approccio circolare è stato recuperato il più abbondante scarto della filiera rappresentato dalle foglie di olivo che sono state sia sottoposte ad estrazione dei principi attivi a carattere antiossidante che trasformate mediante un processo di essiccazione e micronizzazione controllata in polveri standardizzate in composti attivi fenolici. L'olio EVO biologico sinergico, gli estratti e le polveri di foglie di olivo ottenute sono stati impiegati come materie prime funzionali per la formulazione di barrette alimentari innovative a carattere antiossidante e per la prototipazione di olio ad uso cosmetico funzionale e antiossidante per il settore sport. Entrambi i prodotti prototipali sono stati sottoposti ad analisi di caratterizzazione chimica e analisi sensoriale reclutando atleti agonisti di scuole calcio giovanili del territorio toscano. I risultati ottenuti hanno permesso di valorizzare le potenzialità dell'intera filiera olivicolo-olearia toscana anche in termini di sostenibilità e circolarità mediante i prodotti innovativi funzionali alimentari e cosmetici formulati.

PAROLE CHIAVE: olivicoltura; polifenoli; economia circolare; ingredienti innovativi, ingredienti funzionali, *Olea europaea* L.

1 Introduzione

Il progetto BioSynol – Olio e Leguminose: colture bio-sinergiche per alimenti naturalmente fortificati e prodotti innovativi per la salute e per lo sport finanziato dal Piano Strategico di Gruppo Operativo 2014-2020 della Regione Toscana, ha avuto come obiettivo la valorizzazione della filiera olivicolo-olearia toscana anche mediante l'applicazione di un modello di economia circolare. Il capofila di progetto è l'Az. Agr. Fabrizio Tarchi (Vinci, Firenze) produttrice di olio EVO biologico, la restante parte del partenariato è costituita da due aziende olivicole-olearie toscane (Agricola Progetto Uomo+Natura s.n.c. e Az. Agr. Pietro Pasquetti), dalla Confederazione Italiana Agricoltori (CIA) Toscana, Agricoltura è Vita Etruria s.r.l. e da enti di ricerca quali l'Università degli studi di Firenze e l'IRCCS Ospedale San Raffaele di Milano. Obiettivo del progetto BioSynol è stato quello di implementare tecniche di coltura biologica in oliveti coltivati in presenza sinergica di leguminose autoctone toscane, per il miglioramento qualitativo e la valorizzazione delle produzioni agricole territoriali e per lo sviluppo di prodotti innovativi alimentari e cosmetici per lo sport, il benessere e per le patologie invecchiamento correlate. In particolare, questo studio è relativo all'applicazione di un modello di olivicoltura circolare per il recupero e la valorizzazione delle foglie di olivo bio-sinergiche per ottenere materie prime seconde a valenza funzionale, che in associazione con olio EVO bio-sinergico, caratterizzato da un elevato contenuto in composti antiossidanti, e farina di ceci bio-sinergici possano essere ingredienti funzionali innovativi per la formulazione di barrette a carattere antiossidante e olio cosmetico da massaggio funzionale per il settore sport-benessere. Il fulcro del progetto BioSynol corrisponde alla valutazione della presenza e al recupero di molecole antiossidanti di natura fenolica della matrice *Olea europaea* L. Le proprietà biologiche ascritte a questi composti sono molteplici tra cui l'attività antiossidante, antiradicalica, antinfiammatoria, antimicrobica, di modulazione del microbiota intestinale, cardioprotettivi, neuroprotettivi e come coadiuvanti in diverse terapie farmacologiche e chemioterapiche, (Romani et al., 2019, Noce et al., 2021, Ruzzolini et al., 2021, Rocchetti et al., 2022). Queste caratteristiche rendono sia i prodotti che i sottoprodotti della filiera olivicolo-olearia una fonte sostenibile e rinnovabile di ingredienti, materie prime, e materie prime seconde, potenzialmente utilizzabili in diversi settori merceologici, tra cui quello agronomico, alimentare, cosmetico, della mangimistica animale, tessile e della bioedilizia (Romani et al., 2020, Luzi et al., 2021, Buzzi et al., 2023).

2 Metodologia

2.1 Campioni ed estrazione

Tutti i campioni analizzati provengono da un regime di coltura in biologico sinergico tra le piante di olivo e leguminose nell'area di Vinci (FI), Italia:

- Olio EVO biologico sinergico monovarietale cv. Rossellino campagna 2022, azienda agricola F. Tarchi
- Olio EVO biologico sinergico monovarietale cv. Frantoio campagna 2022, azienda agricola F. Tarchi
- Foglie di olivo biologiche sinergiche, azienda agricola F. Tarchi
- Farina di ceci biologici sinergici, azienda agricola F. Tarchi

I campioni selezionati sono stati sottoposti ad estrazione idroalcolica 70/30 EtOH/H₂O acidificata a pH 3.2 con HCOOH. Inoltre, è stato preparato anche un estratto glicerico (70%) delle foglie di olivo.

2.2 Analisi quali-quantitativa HPLC-DAD-MS

La caratterizzazione dei campioni di olio e foglie di olivo è stata effettuata mediante analisi HPLC-DAD-MS: è stato utilizzato un cromatografo liquido HP-1260 munito di un detector DAD (Agilent-Technologies, Palo Alto, USA) e di uno spettrometro di massa MSD API-electrospray (Agilent Technologies) operante in modalità di ionizzazione positiva e negativa. Per la separazione cromatografica è stata utilizzata una colonna LiChrosorb RP18 (4.6x250 mm; 5 µm) (Merck Darmstadt Germany). Fase mobile: H₂O (pH 3.2 per HCOOH) e CH₃CN. È stato impiegato un gradiente lineare multi-step (110 min) ed un flusso di 0.8 mL/min. Gli spettri UV-Vis sono stati acquisiti fra 190 e 600 nm e i cromatogrammi registrati a 240, 280 e 350 nm.

Per l'analisi dell'estratto di ceci è stata utilizzata una colonna Luna C18 250 x 4.6 mm i.d. 5µm (Phenomenex). Fase mobile: H₂O (pH 3.2 per HCOOH) e CH₃CN in gradiente lineare multi-step (40 min.), flusso 0.8 mL/min. Gli spettri UV sono stati acquisiti fra 190 e 600 nm, ed i cromatogrammi registrati a 350, 330, 280 e 260 nm. L'identificazione dei singoli composti è stata effettuata usando tempi di ritenzione e dati spettrofotometrici e spettrometrici, mediante il confronto con standard specifici ove disponibili e con i dati presenti in letteratura. La quantificazione è stata effettuata in HPLC-DAD usando curve di regressione a 5 punti costruite misurando l'assorbanza di soluzioni di standard specifici a concentrazioni note. Sono state prese in considerazione curve con R²>0.9998. La calibrazione è stata effettuata alle lunghezze d'onda di massimo assorbimento UV-Vis dei vari composti, applicando la correzione dei pesi molecolari. In particolare, il contenuto di tirosolo e idrossitirosolo è stato calcolato a 280

nm usando il tirosolo e l'idrossitirosolo come standard di riferimento, rispettivamente, i derivati di natura secoiridoidica sono stati valutati a 280 nm usando oleuropeina come standard; l'acido elenolico ed i suoi derivati sono stati valutati a 240 nm utilizzando una soluzione standard di oleuropeina, i derivati flavonoidici sono stati calibrati a 350 nm utilizzando la luteoloina 7-glucoside come riferimento, i lignani sono stati calibrati a 280 nm utilizzando il tirosolo come standard. I derivati dell'acido indolacetico sono stati calibrati a 280 nm usando l'acido indolacetico come standard di riferimento, gli isoflavoni sono stati calibrati a 260 nm, utilizzando la genisteina come standard, i derivati caffeici sono stati calibrati a 330 nm utilizzando l'acido caffeico.

2.3 Valutazione della capacità antiossidante totale – Metodo spettrofotometrico di Folin-Ciocalteu

L'attività antiossidante dei vari estratti è stata valutata tramite il saggio di Folin-Ciocalteu, metodo descritto da Singleton et al. (1999) leggermente modificato: 125 μ L di campione sono stati aggiunti a 500 μ L di H₂O e a 125 μ L di reattivo Folin e sono stati lasciati al buio per 6 minuti, quindi sono stati aggiunti 1.25 mL di soluzione satura Na₂CO₃ e 1 mL di H₂O e la soluzione mantenuta al buio per 85 minuti. I campioni sono stati quindi centrifugati per 5 minuti a 5000 rpm ed è stata infine misurata l'assorbanza a 725 nm. I composti fenolici totali sono espressi in equivalenti di acido gallico (GAE, mg di acido gallico).

2.4 Ottimizzazione processo di essiccazione controllata

Al fine di ottimizzare il processo di essiccazione delle foglie di olivo è stata utilizzata una camera di essiccazione innovativa che ha permesso di personalizzare il processo di essiccazione controllando vari parametri di processo (Romani et al., 2020).

Le caratteristiche della camera sono:

- Controllo del tempo: per effettuare i cicli diurni e notturni;
- Controllo di temperatura e umidità con l'ausilio di apposite sonde interne/esterne;
- Unità di ventilazione e deumidificazione, per una migliore distribuzione del calore;
- Regolazione dell'intensità di flusso luminoso emesso dagli apparecchi UV
- Impostazione e visualizzazione dei parametri di processo e dei cicli pre-programmati mediante tablet d'interfaccia utente
- Collegamento e controllo da remoto del processo
- Sanificazione del prodotto tramite ozono (O₃) e/o irraggiamento con luce ultravioletta (UVC).

2.5 Scheda sensoriale barrette innovative e questionario sensoriale di olio spray ad uso cosmetico/sport

Il progetto ha previsto la formulazione di barrette alimentari innovative a carattere antiossidante e la prototipazione di olio spray ad uso cosmetico funzionale e antiossidante per il settore sport.

Sono state redatte schede per la valutazione sensoriale, selezionando descrittori organolettici specifici per valutare le barrette prototipate in collaborazione con l'azienda Sixtus Italia partner di progetto. Ad ogni attributo selezionato per aspetto, odore, gusto, retrogusto e consistenza è stata associata una scala di valori da 1 a 10 punti. Di seguito è riportata la scheda sensoriale somministrata ai partecipanti allo studio (figura 1).

**SCHEDA SENSORIALE BARRETTA
SIXTUS**

NOME CAMPIONE _____

NOME E COGNOME _____

DATA _____

ASPETTO	VALUTAZIONE												
Intensità colore	chiaro	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	scuro
Attrazione	poco	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	molto
ODORE													
Intensità olfattiva	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
Olio	basso	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alto
Vegetale	basso	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alto
IN BOCCA													
Omogeneità	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
Consistenza	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
Crocantezza	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
Scioglievolezza	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
Adesività al palato	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
Intensità del gusto	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
Acido	basso	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alto
Amaro	basso	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alto
Dolce	basso	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alto
Persistenza del gusto	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
RETROGUSTO													
Produzione di saliva	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
Untuosità	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
Persistenza aromi	bassa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	alta
GIUDIZIO COMPLESSIVO	scarso	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ottimo

NOTE E OSSERVAZIONI

Figura 1 – Scheda valutazione sensoriale barretta

È stato redatto un questionario sensoriale per il prodotto olio spray da massaggio cosmetico selezionando attributi specifici per descrivere la percezione del consumatore durante e dopo il test del prodotto. Nel questionario elaborato è stata inserita anche la valutazione della percezione di eventuali effetti benefici post allenamento del prodotto dopo 3 min dall'applicazione post allenamento. Di seguito è riportato il questionario somministrato ai partecipanti allo studio (figura 2).

Questionario sensoriale: OLIO SPRAY

CAMPIONE _____

NOME _____ SESSO M F ETÀ _____

1) Quando osservo il prodotto lo percepisco:

- Lucido/Brillante
- Piatto/Opaco
- Denso/Cremoso
- Lattiginoso
- Giallo Brillante
- Giallo Spento

2) Quando applico il prodotto sulla pelle percepisco:

- Freddo
- Caldo
- Facile da stendere /Scivoloso
- Difficile da stendere /Ruvido
- Difficile da strofinare
- Facile da Strofinare
- Altamente assorbente
- Leggermente assorbente
- Acquoso/Umido
- Unto
- Liscio
- Setoso
- Appiccicoso
- Leggero
- Pesante

3) Tre minuti dopo l'applicazione del prodotto percepisco/osservo:

- Lucido/Brillante
- Unto
- Liscio
- Morbido
- Bagnato
- Umido
- Non completamente asciutto
- Appiccicoso
- Asciutto

4) Effetti benefici post-allenamento (selezionare un valore da 1 basso a 10 alto)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

NOTE

Figura 2 – Questionario sensoriale olio spray da massaggio ad uso cosmetico-sport

3 Discussione dei risultati

3.1 Caratterizzazione campioni

Allo scopo di caratterizzare i campioni oggetto dello studio sono state condotte sia analisi cromatografiche che spettrofotometriche.

L'analisi cromatografica HPLC-DAD-MS sui campioni di olio EVO cv Rossellino 2022 e olio EVO cv Frantoio 2022 permettono di valutare il contenuto in composti minori polari (CMP) noti per le loro proprietà antiossidanti e funzionali (Romani et al. 2019). Il contenuto in CMP varia da 871.63 mg/L a 802.6 mg/L di olio, per EVO cv Rossellino e EVO cv Frantoio, rispettivamente. In particolare, il campione EVO cv. Rossellino presenta quantitativi più elevati di idrossitirosolo (5.18 mg/L) e di oleuropeina aglicone (144.66 mg/L) rispetto al campione EVO cv. Frantoio, mentre il contenuto in oleocantale non varia molto fra i due campioni (120.16-121.72 mg/L) (tabella 1). La molecola oleocantale oltre ad avere attività antiossidante è nota per avere azione antinfiammatoria simile all'ibuprofene, come descritto per la prima volta da Beauchamp, negli ultimi anni l'oleocantale è stata tra le molecole della specie *Olea europaea* L. tra le più studiate per i potenziali utilizzi *in vitro* e *in vivo* (Beauchamp et al., 2005, Rivero-Pino 2023). Le analisi condotte evidenziano per entrambi i campioni analizzati un elevato contenuto in composti polifenolici e il raggiungimento del claim salutistico dell'EFSA UE 432/2012 che dichiara: "I polifenoli dell'olio di oliva contribuiscono alla protezione dei lipidi ematici dallo stress ossidativo. Questa indicazione può essere impiegata solo per l'olio d'oliva che contiene almeno 5 mg di idrossitirosolo e suoi derivati (ad esempio, complesso oleuropeina e tirosolo) per 20 g di olio d'oliva. L'indicazione va accompagnata dall'informazione al consumatore che l'effetto benefico si ottiene con l'assunzione giornaliera di 20 g di olio d'oliva".

Composti identificati	Olio EVO cv. Rossellino 2022 mg/L	Olio EVO cv. Frantoio 2022 mg/L
idrossitirosolo	5.18	2.34
tirosolo	5.5	3.97
derivati acido elenolico	26.06	30.79
acido elenolico	64.72	71.38
oleacina	281.38	266.22
oleocantale	121.72	120.16
sommatoria derivati secoiridoidici	55.38	30.38

lignani	167.03	181.59
oleuropeina aglicone	144.66	95.77
Composti Minori Polari totali (CMP)	871.63	802.60

Tabella 1 – Analisi di caratterizzazione quali-quantitativa HPLC-DAD-MS di oli EVO bio-sinergici cultivar Rossellino e Frantoio campagna olearia 2022. Tutti i dati sono la media di tre ripetizioni (deviazione standard < 5%)

Le foglie di olivo bio-sinergiche provenienti dal recupero circolare degli scarti della filiera olivicolo-olearia sono state essiccate nella camera di essiccazione descritta nella sezione 2.4, per 12h a 35°C. La resa del processo di essiccazione è stata del 72%. Le foglie essiccate sono state quindi micronizzate e sottoposte ad estrazione idroalcolica e glicerica e successivamente analizzate tramite cromatografia liquida HPLC-DAD-MS. In tabella 2 sono riportati i dati quali-quantitativi dei due estratti analizzati. L'estratto idroalcolico presenta un contenuto maggiore di oleuropeina e di flavonoidi rispetto all'estratto glicerico, dove invece evidenziamo un maggior contenuto di idrossitirosolo ed in particolare la presenza di oleacina (4.16 mg/g), composto non rilevato nell'estratto idroalcolico. L'oleacina è una molecola della matrice *Olea europaea* L. nota per le sue attività biologiche tra cui quelle antiossidanti, anticancro, anti-aterosclerotiche, anti-obesità e antinfiammatoria (Huang Y. et al., 2023).

Composti identificati	Estratto idroalcolico di foglie di olivo bio-sinergiche mg/g	Estratto glicerico di foglie di olivo bio-sinergiche mg/g
idrossitirosolo	1.60	4.37
verbascoside	1.89	0.91
oleacina	-	4.16
flavonoidi	3.65	1.01
oleuropeina	62.27	25.02
Polifenoli totali	69.41	35.47

Tabella 2 – Analisi di caratterizzazione quali-quantitativa HPLC-DAD-MS di campioni di polvere di foglie di olivo bio-sinergiche e estratto glicerico di foglie di olivo bio-sinergiche. Tutti i dati sono la media di tre ripetizioni (deviazione standard < 5%)

La farina di ceci bio-sinergici rappresenta un ulteriore prodotto ottenuto nell'ambito delle attività di ricerca del progetto BioSynol, i ceci sono

stati posti in coltura sinergica con gli olivi biologici del progetto. Anche per questa matrice sono state condotte analisi cromatografiche HPLC-DAD-MS, ed è stata evidenziata la presenza di derivati dell'acido indolacetico e isoflavoni. In tabella 3 sono riportati i dati quali-quantitativi della farina di ceci espressi in mg per 100g di farina.

Composti identificati	Farina di ceci bio-sinergici mg/100 g
derivati dell'acido indolacetico	26.20
isoflavoni	2.31
composti in via di caratterizzazione	35.36
Totale	63.87

Tabella 3 – Analisi di caratterizzazione quali-quantitativa HPLC-DAD-MS di farina di ceci bio-sinergica. Tutti i dati sono la media di tre ripetizioni (deviazione standard < 5%)

Per poter selezionare in modo efficiente gli ingredienti funzionali innovativi per le formulazioni di referenze alimentari e cosmetiche, sono state condotte anche analisi relative alla capacità antiossidante totale, mediante il test spettrofotometrico di Folin-Ciocalteu, di tutti i campioni analizzati (tabella 4). I dati ottenuti hanno permesso di selezionare questi prodotti come materie prime seconde funzionali per le formulazioni di barrette innovative e olio da massaggi spray da utilizzare per il settore sport-benessere.

Campioni analizzati	Capacità antiossidante totale
olio EVO bio-sinergico cv Rossellino	763 mg GAE/L
olio EVO bio-sinergico cv Frantoio	728 mg GAE/L
estratto glicerico foglie olivo bio-sinergiche	25.92 mg GAE/g
polvere di foglie di olivo bio-sinergiche	50.37 mg GAE/g
farina di ceci bio	105.31 mg GAE/100g

Tabella 4 – Valutazione della capacità antiossidante totale mediante metodo di Folin-Ciocalteu espressa in mg di acido gallico (GAE). Tutti i dati sono la media di tre ripetizioni (deviazione standard < 5%)

I campioni così caratterizzati sono stati poi utilizzati per la prototipazione di barrette e di un olio da massaggio. In particolare, come riportato nella sezione 3.2 e 3.3, l'olio EVO Rossellino, grazie alle caratteristiche organolettiche, giudicate migliori dal panel aziendale interno, è stato selezionato per la prototipazione delle barrette, mentre l'olio Evo Frantoio è stato selezionato come ingrediente funzionale per la prototipazione dell'olio da massaggio.

3.2 Formulazione di barrette innovative

In collaborazione con l'azienda Sixtus Italia sono stati selezionati ingredienti funzionali a carattere antiossidante, quali olio EVO cv Frantoio, estratto glicerico e polvere di foglie di olivo. La farina di ceci bio è stata selezionata come fonte proteica sostenibile (contenuto in proteine pari a 21g/100g) e il relativo contenuto in amminoacidi essenziali quali lisina, triptofano e valina, nutrienti importanti per la dieta anche di sportivi amatoriali e agonistici consumatori di riferimento per queste referenze alimentari (CREA, Grasso et al., 2022). Sono state formulate due barrette, da 25g l'una, aventi i seguenti ingredienti:

Barretta A: sciroppo di glucosio, cioccolato fondente di copertura (pasta di cacao, zucchero, burro di cacao, emulsionante: lecitina di soia, aroma naturale di vaniglia), proteine di soia, farina di ceci bio-sinergici 7,6 %, pasta gusto cioccolato (cacao in polvere, olio di cocco, olio di girasole, zucchero, burro di cacao, emulsionante: lecitina di soia), olio EVO bio-sinergico cv Rossellino 5,7%, estratto glicerico di foglie di olivo bio-sinergiche 0,4 %, polvere foglie di olivo bio-sinergiche 0,1%, umidificante: sorbitolo, sciroppo di fruttosio, conservante: sorbato di potassio, aroma.

Barretta B: sciroppo di glucosio, cioccolato fondente di copertura (pasta di cacao, zucchero, burro di cacao, emulsionante: lecitina di soia, aroma naturale di vaniglia), proteine di soia, farina di ceci bio-sinergici 7,6 %, pasta gusto cioccolato (cacao in polvere, olio di cocco, olio di girasole, zucchero, burro di cacao, emulsionante: lecitina di soia), olio EVO bio-sinergico cv Rossellino 5,7%, umidificante: sorbitolo, sciroppo di fruttosio, conservante: sorbato di potassio, aroma (figura 3)



Figura 3 – Barretta B innovativa funzionale a base di farina di ceci e olio EVO da 25g

Le barrette innovative formulate sono state successivamente analizzate per valutare la capacità antiossidante totale mediante test spettrofotometrico di Folin-Ciocalteu. La barretta A presenta una capacità antiossidante totale pari a 150.3 mg GAE mentre la barretta B pari a 135.5 mg GAE. I dati ottenuti evidenziano e confermano, che l'aggiunta alle barrette di polvere di foglie di olivo e del suo estratto glicerico, ricchi in composti polifenolici (barretta A), ne aumentano la capacità antiossidante.

Campioni	Capacità antiossidante totale mg GAE/barretta
Barretta A	150.3
Barretta B	135.5

Tabella 5 – Valutazione della capacità antiossidante totale espressa in mg di acido gallico (GAE) delle barrette formulate. Tutti i dati sono la media di tre ripetizioni (deviazione standard < 5%)

Le barrette sperimentali formulate sono state successivamente sottoposte a valutazione sensoriale di gradimento dal panel interno dell'azienda Sixtus Italia. Basandosi sui risultati ottenuti, è stata selezionata la barretta B per condurre test sensoriali su una popolazione più vasta di consumatori. La valutazione sensoriale è stata condotta su una popolazione di 80 atleti di sesso maschile tesserati presso la scuola calcio Tau di Altopascio, (Lu), di età compresa tra 16 e 30 anni. Il test ha previsto la valutazione della barretta B sperimentale e una barretta già commercializzata dall'azienda Sixtus Italia. L'elaborazione dei dati ha mostrato che le principali differenze tra le due barrette sono relativi agli attributi di intensità di colore, consistenza e percezione dell'amaro. Per quanto riguarda l'intensità del colore si ha un valore maggiore rilevato nelle barrette prototipate, in quanto ricoperte di cioccolato, mentre quelle già commercializzate dall'azienda non hanno copertura esterna. Per i dati relativi alla percezione gustativa è stato misurato un valore maggiore attribuito alla barretta prototipale. Ulteriore aspetto sensoriale rilevato è stato relativo alla croccantezza, la quale risulta inferiore nel campione prototipale, in quanto barretta commerciale è a base di riso soffiato. In relazione a questo aspetto molti partecipanti alla degustazione hanno indicato nelle note della scheda un apprezzamento nei confronti della barretta prototipale B, ma suggerendo l'aggiunta di ingredienti che possano conferire croccantezza al prodotto.

3.3 Formulazione olio spray ad uso cosmetico settore sport

Ulteriore utilizzo innovativo dei prodotti funzionali ottenuti dalla valorizzazione delle foglie di olivo e dell'olio EVO, ad elevato tenore di composti attivi, è stato relativo all'impiego degli stessi nella formulazione di un olio da massaggio cosmetico per il settore sportivo, da impiegare durante la fase post allenamento. Sono stati selezionati l'olio EVO cultivar Rossellino (campagna 2022), dell'azienda capofila di progetto Fabrizio Tarchi con un tenore di composti attivi pari a 871.63 mg/L, e l'estratto glicerico di foglie di olivo e sono stati addizionati ad una base olio cosmetica già utilizzata dall'azienda Sixtus Italia per il mercato sportivo. Le formulazioni di due oli funzionali da massaggio progettati differivano per la presenza o meno dell'estratto glicerico:

Olio A: Olio EVO biosinergico cv. Rossellino 1,2%, ethylhexyl palmitate, stearato di etilesil, miristato di isopropil, olio di *Salvia officinalis* L. (salvia), idrogenato ethylhexyl olivate, *Rosmarinus officinalis* L. (rosmarino) olio di foglia, tocopheryl acetate, limonene, *Citrus limon* L. (limone) olio di bucce, linalool, tocoferolo, geraniolo, citrale.

Olio B: Olio EVO biosinergico cv. Rossellino 1,2%, estratto glicerico di foglie di olivo bio-sinergiche 0.4%, ethylhexyl palmitate, stearato di etilesil, miristato di isopropil, olio di *Salvia officinalis* L. (salvia), idrogenato ethylhexyl olivate, *Rosmarinus officinalis* L. (rosmarino) olio di foglia, tocopheryl acetate, limonene, *Citrus limon* L. (limone) olio di bucce, linalool, tocoferolo, geraniolo, citrale. (figura 4)

Gli oli da massaggio prototipali e l'olio base (commercializzato dall'azienda Sixtus Italia) sono stati sottoposti ad analisi spettrofotometrica per la valutazione della capacità antiossidante totale mediante il metodo Folin-Ciocalteu. In tabella 6 sono riportati i risultati delle analisi che evidenziano per entrambi gli oli addizionati sperimentali una capacità antiossidante maggiore (251.5-298.6 mgGAE/L) rispetto all'olio base (153.2 mgGAE/L).

Campioni analizzati	Capacità antiossidante totale mg GAE/L
Olio da massaggio base	153.2
Olio da massaggio A	251.5
Olio da massaggio B	298.6

Tabella 6 – Valutazione della capacità antiossidante totale dei due oli da massaggio addizionati messi a confronto con la formulazione base.

Dati espressi in mg di acido gallico (GAE) su litro di olio.

Tutti i dati sono la media di tre ripetizioni (deviazione standard < 5%)



Figura 4 – Oli da massaggio analizzati: olio base, olio A addizionato di olio EVO, olio B addizionato di olio EVO ed estratto glicerico di foglie di olivo

Le analisi spettrofotometriche confermano una funzionalizzazione in termini di azione antiossidante che gli oli da massaggio A e B hanno assunto grazie all'aggiunta di olio EVO e dell'estratto glicerico di foglie provenienti da olivicoltura circolare. Gli oli da massaggio A e B prototipali sono stati sottoposti ad analisi sensoriale somministrando questionari alla stessa popolazione di sportivi precedentemente selezionata per il panel test delle barrette sperimentali (popolazione di 80 atleti da sesso maschile di età compresa tra 16 e 30). I dati relativi all'elaborazione dei questionari somministrati hanno mostrato che, per entrambi gli oli da massaggio prototipali A e B, è stata evidenziata una brillantezza positiva al momento dell'osservazione visiva del prodotto. Differenze tra i campioni somministrati sono state rilevate all'applicazione del prodotto, in particolare il campione A è stato percepito come facile da stendere, con elevata scivolosità ed è stato percepito come caldo da parte della maggior parte dei partecipanti, a differenza del campione B, la cui percezione è stata di un prodotto freddo e con una maggiore untuosità. Nel questionario è stata richiesta anche una valutazione della performance di prodotto relativa agli effetti benefici riscontrati post allenamento misurati da 1 (basso) a 10 (alto). Per l'olio da massaggio A la valutazione media è stata di 7, mentre per l'olio da massaggio B è stata di 7,8.

4 Conclusioni

Nell'ambito delle attività di ricerca e innovazione del progetto "Bio-Synol - Olio e Leguminose: colture bio-sinergiche per alimenti naturalmente fortificati e prodotti innovativi per la salute e per lo sport" sono stati raggiunti importanti risultati relativi alla valorizzazione circolare dei prodotti e sottoprodotti della filiera olivicolo-olearia toscana. Sono stati ottimizzati ingredienti funzionali, a partire da oli EVO ricchi in composti attivi come richiesto dal claim salutistico dell'EFSA e materie prime seconde da scarti olivicolo-oleari come estratti e polveri di foglie di olivo titolati in oleuropeina. Tali ingredienti hanno rappresentato la base innovativa per la formulazione di referenze merceologiche funzionali tra cui, barrette alimentari e olio cosmetico da massaggio entrambe per il settore sport e benessere. Le attività di ricerca svolte hanno creato e rafforzato la sinergia tra gli enti di ricerca e le aziende del territorio toscano permettendo a quest'ultime di dare vita a nuove opportunità di business e collaborazioni aziendali anche in altri settori merceologici. Il progetto BioSynol ha generato opportunità di sviluppo locale basate sull'incorporazione di risorse in altri processi per la creazione di ulteriore valore, garantendo la sostenibilità economica, ambientale e sociale.

5 Ringraziamenti

Il progetto BioSynol è dedicato alla memoria della Prof.ssa Annalisa Romani ideatrice di questo e di numerosi altri progetti di ricerca, sviluppo e innovazione dell'Università degli studi di Firenze.

Le attività di ricerca sono state finanziate nell'ambito del cofinanziamento FEASR del Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 della Regione Toscana Bando relativo al Sostegno per l'attuazione dei Piani Strategici e la costituzione e gestione dei Gruppi Operativi (GO) del Partenariato Europeo per l'Innovazione in materia di produttività e sostenibilità dell'agricoltura (PEI-AGRI).

Si ringraziano i partner di progetto: Azienda Agricola Fabrizio Tarchi (Vinci, Firenze), Sixtus Italia Italia srl. (Prato).

Bibliografia

- BEAUCHAMP, G.K., KEAST, R.S., MOREL, D., LIN, J., PIKA, J., HAN, Q., BRESLIN, P.A. (2005). Ibuprofen-like activity in extra-virgin olive oil. *Nature*, 437(7055), 45-46.
- BUZZI, R., GUGEL, I., COSTA, S., MOLESINI, S., BOREALE, S., BALDINI, E., MANFREDINI, S. (2023). Up-Cycling of *Olea europaea* L. Ancient Cultivars Side Products: Study of a Combined Cosmetic–Food Supplement Treatment Based on Leaves and Olive Mill Wastewater Extracts. *Life*, 13(7), 1509.
- CONSIGLIO PER LA RICERCA IN AGRICOLTURA E L'ANALISI DELL'ECONOMIA AGRARIA – CREA. Tabelle di composizione degli alimenti. <https://www.crea.gov.it/-/tabella-di-composizione-degli-alimenti>
- HUANG, Y., GUAN, Q., ZHANG, Z., WANG, P., LI, C. (2023). Oleacein: A comprehensive review of its extraction, purification, absorption, metabolism, and health effects. *Food Chemistry*, 137334.
- GRASSO, N., LYNCH, N.L., ARENDT, E.K., O'MAHONY, J.A. (2022). Chickpea protein ingredients: A review of composition, functionality, and applications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 21(1), 435-452.
- LUZI, F., PANNUCCI, E., CLEMENTE, M., GRANDE, E., URCIUOLI, S., ROMANI, A., SANTI, L. (2021). Hydroxytyrosol and oleuropein-enriched extracts obtained from olive oil wastes and by-products as active antioxidant ingredients for poly (vinyl alcohol)-based films. *Molecules*, 26(7), 2104.
- NOCE, A., MARRONE, G., URCIUOLI, S., DI DANIELE, F., DI LAURO, M., PIETROBONI ZAITSEVA, A., ROMANI, A. (2021). Usefulness of extra virgin olive oil minor polar compounds in the management of chronic kidney disease patients. *Nutrients*, 13(2), 581.
- RIVERO-PINO, F. (2023). Oleocanthal – Characterization, production, safety, functionality and in vivo evidences. *Food Chemistry*, 136504.
- REGOLAMENTO (UE) n. 432/2012 della Commissione Europea del 16 maggio 2012. EFSA. Relativo alla compilazione di un elenco di indicazioni sulla salute consentite sui prodotti alimentari, diverse da quelle facenti riferimento alla riduzione dei rischi di malattia e allo sviluppo e alla salute dei bambini. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 136/1
- ROMANI, A., IERI, F., URCIUOLI, S., NOCE, A., MARRONE, G., NEDIANI, C., BERNINI, R. (2019). Health effects of phenolic compounds found in extra-virgin olive oil, by-products, and leaf of *Olea europaea* L. *Nutrients*, 11(8), 1776.

- ROMANI, A., CAMPO, M., URCIUOLI, S., MARRONE, G., NOCE, A., BERNINI, R. (2020). An industrial and sustainable platform for the production of bioactive micronized powders and extracts enriched in polyphenols from *Olea europaea* L. and *Vitis vinifera* L. wastes. *Frontiers in Nutrition*, 7, 120.
- ROCCHETTI, G., CALLEGARI, M.L., SENIZZA, A., GIUBERTI, G., RUZZOLINI, J., ROMANI, A., LUCINI, L. (2022). Oleuropein from olive leaf extracts and extra-virgin olive oil provides distinctive phenolic profiles and modulation of microbiota in the large intestine. *Food Chemistry*, 380, 132187.
- RUZZOLINI, J., CHIOCCIOLI, S., MONACO, N., PEPPICELLI, S., ANDREUCCI, E., URCIUOLI, S., BIANCHINI, F. (2021). Oleuropein-rich leaf extract as a broad inhibitor of tumour and macrophage INOS in an Apc mutant rat model. *Antioxidants*, 10(10), 1577.
- SINGLETON, V.L., ORTHOFER, R., LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178).

Online Food Delivery and sustainability: what is the consumer perception? An empirical analysis among Italian consumers

Federica Murmura

Università degli Studi di Urbino Carlo Bo

Giada Pierli

Università degli Studi di Urbino Carlo Bo

Laura Bravi

Università degli Studi di Urbino Carlo Bo

Lolita Liberatore

Università degli Studi G. d'Annunzio Chieti-Pescara

ABSTRACT

Today, thanks to technological and digital progress, the online food delivery (OFD) industry is significantly emerging in markets worldwide, leading to a major change in consumers eating habits. However, the rapid and strong growth of this service has generated considerable impacts on the environment and society. Given the urgency of moving towards purchasing and consumption models that respect the planet and people, it becomes clear the need to consider the phenomenon of online food delivery from a broader perspective, trying to grasp its sustainable implications. The present study thus aims to move in this direction, seeking to understand the current degree of online food delivery diffusion among Italian consumers and their level of awareness regarding the impacts of this sector in terms of environmental, social, and economic sustainability. To achieve this objective, a quantitative survey was conducted by means of an online questionnaire. A total of 379 individuals participated in the study. The results indicate that the propensity to use online food delivery is quite widespread within the sample surveyed, even though this does not translate into a particular frequency in the use of digital platforms involved in this service. Furthermore, there is not yet a full understanding of the negative implications that online food delivery may have if not managed along sustainable lines. It is therefore evident that more effort is needed from both online food delivery businesses and institutions to raise consumer awareness of sustainability issues and promote responsible behaviour.

KEYWORDS: online food delivery (OFD); sustainability; sustainable development; consumer perception; online food delivery platform

1 Introduction

The pervasiveness of the Internet and smartphones in the daily lives of people is radically transforming the restaurant industry, along with consumption patterns and eating habits (Ali et al., 2021; Corvo, 2021). Restaurants and supermarkets are increasingly using technology for their deliveries, even giving way directly to companies that make deliveries their core business (Li et al., 2020). In turn, consumers become more familiar with online services, electronic payments become more reliable, and the range of suppliers and their delivery networks expand (Cheng, 2020; Ganapathi and Abu-Shanab, 2020). The rise of new technologies and the spread of digitisation have therefore pushed much of the food industry's activities to follow the omnichannel direction that is increasingly taking hold in the market, giving a leading role to food delivery apps (Shankar et al., 2022).

The use of Online Food Delivery (OFD) platforms falls within the broader paradigm of Online to Offline (O2O) commerce, namely a form of e-commerce in which consumers are attracted to an online product or service and induced to complete a transaction in an offline environment (Li et al., 2020; Lee and Chau, 2022; Yao et al., 2022). Specifically, OFD services can be defined as “the process of ordering food directly from local restaurants or restaurant intermediaries through mobile applications or web pages to get food delivered to a specific location or their doorstep” (Ali et al., 2021, p.3). The main functions performed by OFD apps include a wide culinary offering, the order collection and transfer to the food producer, the monitoring of payments, the delivery organisation and tracking services (Li et al., 2020). Also called food delivery aggregators, online platforms may serve as mere intermediaries between the restaurant and the consumer, or even take over the delivery (Ali et al., 2021). Either way, the use of OFD allows restaurants to reach many people in a cost-effective manner (Williams et al., 2020). To date, some restaurants have developed their own websites and apps for online food ordering (Yeo et al., 2017; Ray et al., 2019; Shankar et al., 2022). However, still few restaurateurs use their own channels for food delivery (Hwang et al., 2021), most preferring the use of third-party platforms, such as FoodPanda, Just Eat, Deliveroo and Uber Eats.

In recent years, the OFD market has experienced unprecedented growth (Shankar et al., 2022). By 2024, it is estimated that the global OFD market could reach 182.3 billion US\$ (Statista, 2020). This rapid expansion has inevitably affected the way food suppliers and consumers interact (Li et al., 2020). With just a click, individuals can receive their favourite meal from the comfort of their home or office (Hong et al. 2021), saving time and energy. OFD services are therefore a solution to the increasingly hectic pace of life (Ganapathi and Abu-Shanab, 2020), taking consumers away

from meal planning. People want to avoid searching for food and waiting (Chai and Yat, 2019), preferring to have food delivered directly to them as quickly as possible and at low prices. Thus, more time can be spent on the consumption choice, ensuring a more relaxed shopping experience than in the situation of a sudden, rash or impulse selection (Ali et al., 2021). Through OFD apps, consumers can choose the most suitable restaurant for their needs not only based on distance and type of offer, but also on user reviews and rankings, which are available directly on the platform (Li et al., 2020).

The increasing use of OFD services thus brings with it undeniable benefits for consumers and for the economic growth of the restaurant sector, but also a number of pitfalls and challenges for society and the planet that cannot be overlooked. The high consumption volumes of food ordered online have actually led to a sharp increase in the use of plastic food containers, contributing to the negative environmental impacts already taking place (Jia et al., 2022), such as land-use change, loss of biodiversity, climate change. The packaging production requires large amounts of raw materials and energy, causing great stress on the environment due to resource depletion and the release of greenhouse gases (Yi et al., 2017; Arunan and Crawford, 2021). At the same time, the disposal of waste from food delivery generates high carbon emissions, which are estimated to rise by 132% in relation to a predicted 65 million increase in online food orders by 2024 (Arunan and Crawford, 2021). Furthermore, easy access to a wide range of meals and frequent promotional offers incentivises consumers to order more than they need, thus increasing the problem of food waste (Talwar et al., 2023). With the low-priced offer of high sugar and fat foods and the possibility to receive them effortlessly, home delivery also affects public health by promoting unhealthy eating habits and a sedentary lifestyle (Maimaiti et al., 2018; Li et al., 2020). Studies have shown that menus offering unhealthy meals present more discounts and photos than those with healthy foods (Horta et al., 2021), such as fruit and vegetables. In addition, there are the questionable working conditions of delivery couriers, who are granted few rights and protections. Although apparently flexible, this work encompasses various forms of conditioning individual autonomy, both at a socio-economic and legal level (Delogu, 2018). Added to the risks posed by work rhythms and constant availability, which can compromise the health and safety of couriers, are the job insecurity resulting from the substitutability and short-term nature of the services, the low remuneration and the wide availability of labour that increases competitive pressure (Jia et al., 2022).

So far, the literature on OFD has mainly explored consumer usage intentions and behaviour (Li et al., 2020; Song et al., 2021), user percep-

tions (Choe et al., 2021; Tandon et al., 2021), consumption experience and satisfaction (Suhartanto et al., 2019), and the characteristics and business models of the service delivery platforms (Cho et al., 2019). Few scholarly efforts have yet been made to investigate this phenomenon from a broader perspective (Li et al., 2020; Jia et al., 2022; Shankar et al., 2022), trying to grasp its unequivocal sustainable implications.

The present study intends to fill this gap by attempting to understand the current degree of diffusion of OFD among Italian consumers and their level of awareness regarding the impacts of this sector in terms of environmental, social and economic sustainability. To this end, a quantitative survey was conducted through an online questionnaire, in which 379 people participated.

The paper is organised as follows: in the next section, the research methodology is proposed. Then, the survey results are presented. Finally, the implications of the study, limitations and directions for future research are discussed.

2 Methodology

To achieve the aim of the study, a quantitative analysis was conducted through the administration of an online research questionnaire developed using Computer Assisted Web Interviewing (CAWI) methodology. The decision to use the online survey stems from its many benefits, including the possibility of reaching a large and diverse population at reduced time and cost (Lefever and Matthíasdóttir, 2007), ensuring respondent anonymity (Nayak and Narayan, 2019), avoiding data loss and automatically creating the database for analysis (Ilieva et al., 2002). Data were collected in February 2023 by sharing the questionnaire in channels such as WhatsApp, Instagram, LinkedIn and Facebook and using a convenient non-random sampling method. In total, 379 Italian consumers took part in the survey.

The questionnaire consists of closed-ended questions, for some of which a 5-point Likert scale was used. These questions were divided into four sections. The first analyses the socio-demographic profile of the respondents (age, gender, area of residence, educational qualification, etc.). The second one examines the purchasing and consumption habits of takeaway food with home delivery. In the third section, the focus is on the degree of use and awareness of online delivery platforms. Finally, the last section explores consumer perceptions of online food delivery and sustainability.

Descriptive analysis was used to evaluate the results of the study.

To summarise the data obtained and their level of dispersion, mean and standard deviation were determined with reference to specific questions. Since the literature shows different approaches between men and women to the issue of sustainability, the sample was investigated not only in general terms but also from a gender perspective, focusing on particular issues within the fourth section of the questionnaire.

3 Results and Discussion

3.1 Consumer profile

As shown in Table 1, 54.4% of the respondents are women, 44.9% are men and only 0.8% prefer not to identify with any gender. As regards age, the sample proves to be quite heterogeneous, with 30.6% belonging to the 18-25 age group, 29.8% to the 42-57 age group and 20.8% to the 26-41 age group. This is followed by adults aged between 58 and 76 (16.1%) and the over 77s (2.6%). On a demographic level, it can be observed that a high number of respondents live in the Central regions of Italy (51.5%), as opposed to the North (19.0%), the South and Islands (29.6%). Regarding education, most of the interviewees have a High School Diploma (35.6%), while 27.2% and 19.5% respectively have a Bachelor and a Master Degrees. The most common profession is office worker (27.7%). This is followed by those belonging to the student (21.1%) and student worker (14.0%) categories. The average monthly income is rather low (below 500 euros) for 27.2% of the respondents. On the other hand, 23.0% earn between 1501 and 2000 euros every month, followed by 20.1% with a salary ranging from 1001 to 1500 euros. Regarding the composition of the household, 30.9% of the participants live with their parents and brothers/sisters (30.9%), while 26.6% live with their husband/wife and child(ren). Moreover, a large part of the sample has no minors (75.2%) or elderly people at home (90.0%).

		n	%
Gender			
	Male	170	44.9
	Female	206	54.4
	Prefer not to say	3	0.8
Age (years)			

	18-25	116	30.6
	26-41	79	20.8
	42-57	113	29.8
	58-76	61	16.1
	77 and above	10	2.6
Residence area			
	North-Italy	72	19.0
	Centre	195	51.5
	South and Islands	112	29.6
Education			
	Primary School graduation	6	1.6
	Secondary School graduation	39	10.3
	High School graduation	135	35.6
	Bachelor's degree	103	27.2
	Master's degree	74	19.5
	Postgraduate degree	22	5.8
Occupation			
	Student	80	21.1
	Working student	53	14.0
	Employee	105	27.7
	Freelancer	21	5.5
	Housewife	10	2.6
	Unemployed	15	4.0
	Retired	42	11.1
	Other	53	14.0
Monthly income			
	Less than 500€	103	27.2

	501-1000€	46	12.1
	1001-1500€	76	20.1
	1501-2000€	87	23.0
	2001-2500€	47	12.4
	2501-3000€	10	2.6
	Above 3000€	10	2.6
Family composition			
	Alone	49	12.9
	With husband/wife	59	15.6
	With husband/wife and child(ren)	101	26.6
	With parents and brother(s)/sister(s)	117	30.9
	With friends	14	3.7
	Other	39	10.3
Minors in the household			
	Yes	94	24.8
	No	285	75.2
Older people in the household			
	Yes	38	10.0
	No	341	90.0

Table 1 – Respondents’ socio-demographic information

3.2 Purchasing and consumption habits of take-away food with home delivery

The second section aims to investigate the sample’s propensity to purchase and consume take-away food with home delivery. It should also be specified that the questionnaire stops for all those who answered that they never use the take-away food service. Therefore, the frequency with which the interviewees make use of home delivery was immediately investigated; in this regard, it can be stated that the respondents rarely use this type of service (average 2.08). Despite the explosion known by home food delivery recently (Muangmee et al., 2021), these results confirm the diffi-

culty of this service to enter the Italian market, based on a rather traditionalist and ‘home-made’ food culture (Mascarello et al., 2017).

Thereafter, attention was turned to the variables influencing the choice of take-away food with home delivery (Table 2). Amongst these, the quality of the meal appears to be the most important factor (4.09), but the variety of choice on the menu (3.53), the proximity of the place of purchase (3.63) and the delivery time (3.96) are also quite important. On the contrary, packaging appears to be the element least taken into consideration (2.79). This last aspect seems to be in contrast with the increasing attention paid to the condition of food packaging by consumers (Langley et al., 2021; Brennan et al., 2021; Shankar et al., 2022), in terms of both hygiene and eco-friendliness.

Furthermore, the feelings towards the use of home delivery services were investigated (Table 3). In particular, it is observed that the sample mainly considers food delivery as a support in the preparation of food on special occasions (3.62) or a help after a heavy working day (3.55), as it allows them to experience the moment of enjoying a meal with less stress. Food delivery services that are readily available take consumers away from the thought of planning meals. More and more people want to avoid searching for food and waiting (Chai and Yat, 2019), preferring that the meal arrives to them effortlessly and is delivered as quickly as possible. Although the post-modern consumer is characterised by a curiosity to try new flavours and to learn about alternative cuisines (Tuorila, 2020), home food delivery is not particularly perceived as stimulating the desire to try new types of food (2.85) by the sample analysed.

	Mean	SD
Price	3.47	1.046
Variety of choice on the menu	3.53	0.965
Packaging (aesthetics, sustainability, user-friendliness, etc.)	2.79	1.097
Quality of the dish (appearance, flavour, and cooking)	4.09	0.936
Proximity of the purchasing place	3.63	1.107
Delivery time	3.96	0.944

Table 2 – Importance of the following factors when choosing a take-away food with home service

	Mean	SD
It represents a relaxing moment after a hard day's work	3.55	1.009
It promotes socialising with friends and family	3.11	1.032
It avoids the stress of preparing food on special occasions (birthdays, etc.)	3.62	1.061
It cuddles in moments of discouragement	3.25	1.198
It stimulates the desire to experiment	2.85	1.153

Table 3 – Sample opinions on food delivery with home service

3.3 Use and perception of online food delivery platforms

Moving on to the third section concerning the knowledge, use and perception of online food delivery platforms, it emerges that although 56.8% are familiar with OFD, not everyone is clear on what is meant by this term; in fact, 25.1% state that they have a partial understanding of the concept and 18.1% that they know nothing about it. Nevertheless, 67.2% of the respondents say they are inclined to use digital platforms to order food at home.

To deepen the habits of OFD service users, individuals were asked to specify which platforms they most frequently turn to. Although rarely used, it emerges the main trend of platforms such as Just Eat (2.45), Glovo (2.27) and Deliveroo (2.05), confirming that these are the most successful players in Italy (Carartu, 2018; Amicarelli et al., 2021). In contrast, the least used are the OFD services provided by Cosaordino and Foodys, both of which present an average of 1.04. Furthermore, pizza (2.97) and hamburgers (2.62) appeared to be the most ordered meals, while vegetarian or vegan menus (1.30) were among the least popular. If the preference for pizza and hamburgers is in line with the Just Eat Observatory (2022), the data obtained for the vegetarian/vegan category seem to refute the estimate that green orders are experiencing a large growth (Rapporto Coop, 2021).

Of the different factors that guide respondents in choosing a particular OFD service, the main ones are the cost of the service (4.08) and the ease of use of the application (4.07) (Table 4). Consumers tend to make decisions at a given time based on the maximum benefit they can obtain from the transaction by looking for the cheapest price, while still taking into account the nutritional value of the product (Olilla, 2011). Hence, the preference for platforms that offer rewards and cashback (Das, 2018), promotional offers and discounted rates (Frederick and Parappagoudar,

2021). Furthermore, the emphasis on user-friendliness confirms that people are not likely to shop online if the so-called Perceived Ease of Use (PEOU) is hindered by some barriers such as long download times of retailers' apps or poorly designed websites (Chai and Yat, 2019; Kurniawan and Tankoma, 2023).

	Mean	SD
Offer variety	3.76	0.988
Customisation of the offer	3.49	1.096
App user-friendliness	4.07	1.008
Service costs	4.08	0.940
Possibility of real-time monitoring of delivery progress	3.83	1.007
Use of different payment methods	3.90	1.020
App design and aesthetics of the dishes presented	3.09	1.109
Previous purchase experience	3.68	1.066
Feedback or positive comments from friends and family	3.46	1.105
Privacy guarantee	3.53	1.256
Work ethics	3.63	1.176

Table 4 – Importance of the following factors when choosing an online food delivery service

3.4 Online food delivery and Sustainability

Finally, the focus is on the topic of online food delivery and sustainability. Since the issue of packaging disposal of home-delivered food clearly emerges in the literature (Arunan and Crawford, 2021), this was the first item investigated. In this regard, it is evident that the sample pays little attention to disposal practices; indeed, there is no pattern of behaviour that excels over the others. In general, it can be seen that there is a greater propensity to dispose of the packs in the separate collection without washing them (2.95) than to dispose of them in the undifferentiated (2.66) and separate collection with washing (2.78). Consistent with Liu and Chen (2021), few individuals consider washing food packaging to reuse it (1.63).

The adverse natural events that are increasingly affecting society have enhanced the interest in the environmental, social and economic implications of food waste and thus increased awareness towards more responsible behaviour (Pires et al., 2021; Pappalardo et al., 2020). The answers obtained confirm this growing awareness of the issue and a kind of maturity with respect to a careful management of food surpluses. The sample state that they rarely throw food in the bin (1.84), as they prefer to consume it again the next day (3.54). These results are also consistent with the studies of Tronca and Secondulfo (2021), who highlight the main tendency of individuals to consume leftover food, avoiding throwing it in the bin or donating it to others.

After analysing the interviewees' attitudes towards a responsible and conscious use of food ordered online, the survey sought to understand the perceptions of individuals regarding the impact of OFD in terms of sustainability (Table 5). The data indicate that the sample seems to be quite convinced, as indicated in the literature by Ahuja et al. (2021) and Li et al. (2020), that OFD represents an opportunity for economic growth for the restaurant industry, viewing it as the lifeline of many restaurant businesses during the pandemic (4.04) and an anchor in increasing employment in the sector (3.40) and related industries (3.27). Similarly, respondents are quite aware of the lack of attention paid by this service to the protection of its workers, especially delivery couriers (3.49). Poorly agreed, on the other hand, is the thesis that OFD can encourage food waste (2.32), incorrect waste disposal (2.66), carbon dioxide emissions in the air (2.88), sedentari-ness and obesity (2.88) or individualism and isolation at home (2.30). This implies that there is still no full awareness of the negative impacts that OFD may have on humans and the environment. These have been described in the literature, among others, by Maimaiti et al. (2018), who discuss the change in lifestyle and household structure brought about by the use of such a service, by Arunan and Crawford (2021) who provide a prediction on the growth of greenhouse gases released into the atmosphere by 2024 with respect to which OFD plays a crucial role, and by Talwar et al. (2023), who argue that access to a variety of food ordering options via a few clicks can push consumers to order in excess, generating food waste.

It was also found interesting to investigate how women and men approach the issue of sustainability declined within OFD. Often, the literature has identified a greater sensitivity of the female gender towards environmental and social issues (Bloodhart and Swim, 2020; Lazaric et al., 2020; Degli Esposti et al., 2021), which translates into the adoption of more sustainable behaviour. Nevertheless, this study does not show any particular differences between women and men regarding their attention to the role that OFD can play on sustainable development.

Both genders, in fact, are not completely indifferent to the repercussions that this service may have on working conditions (3.52 for women; 3.46 for men), although they recognise the contribution of OFD to increasing employment (3.49 for women; 3.32 for men). Conversely, it is possible to note a fair gap regarding the contribution of this service during the pandemic crisis; in fact, women are quite favourable in confirming that OFD was indispensable for the survival of many restaurateurs during the health emergency (4.27) in contrast to men (3.77). Furthermore, women appear to be little aware of the impact that the use of OFD may have on family sociability (2.34). Men, meanwhile, do not think that ordering food online can particularly encourage food waste (2.22).

	All sample		Women		Men	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
It fosters the employment of chefs, delivery workers, app programmers, administrative staff	3.40	0.897	3.49	0.847	3.32	0.941
It is a valuable partner for related industries (packaging manufacturers, e-bike manufacturers, etc.).	3.27	0.958	3.36	0.938	3.20	0.979
It has been the lifeline of restaurateurs during the health emergency	4.04	0.942	4.27	0.790	3.77	1.037
It negatively affects family sociality, fuelling individualism and isolation	2.30	1.097	2.34	1.139	2.23	1.056
It encourages sedentariness and obesity	2.88	1.202	2.89	1.230	2.89	1.187
It stimulates food waste	2.32	1.071	2.39	1.100	2.22	1.034
It increases the problem of waste disposal	2.66	1.143	2.74	1.211	2.57	1.058
It does not guarantee adequate working conditions and protection for riders	3.49	1.193	3.52	1.210	3.46	1.174
It generates CO ₂ emissions due to packaging production, food delivery and disposal practices	2.88	1.119	3.01	1.185	2.73	1.022

Table 5 – Sample opinions on online food delivery and sustainability

4 Conclusions

The online food delivery sector has expanded enormously in recent years thanks to technological and digital progress (Shankar et al., 2022), thus contributing to the economic growth of the restaurant industry. Nevertheless, the home delivery service, besides its convenience and practicality, generates a number of effects that harm the planet and its inhabitants (Li et al., 2020). This study looked to analyse the purchasing and consumption habits of Italian consumers with respect to OFD, trying in particular to understand their degree of sensitivity to the issue of sustainability and how aware they are of the impacts that this service entails. The survey was conducted through the use of a questionnaire, which enabled 379 people to be reached.

In general, the results showed that the majority of respondents rarely turn to home delivery services in their daily lives, but when they do, they mainly take into account the quality of the food delivered. Usually, the choice of home delivery prevails when one wants to avoid the stress of preparing food, often after a busy working day or for special occasions. The possibility of saving time and eating quick meals at convenient prices play an extremely important role in the choice of using home food delivery services (Chai and Yat, 2019). Thanks to this solution people can spend the saved time on other activities such as taking care of their wellbeing, taking care of their home or children, and so on. Focusing particularly on the phenomenon of OFD, this appears to be quite well-known within the sample surveyed. Specifically, Just Eat, Deliveroo and Glovo are indicated as the main trusted intermediaries. The choice of digital food platforms tends to fall towards those that impose low delivery costs and whose applications are easy to use. Chai and Yat (2019) and Kurniawan and Tankoma (2023) emphasize the importance of designing clear and understandable OFD websites. Indeed, consumers estimate the quality of food products from the image and description provided or services on the webpage. Several studies indicate that aesthetics understood as appeal and formality, and design play a crucial role in determining behavioral intentions toward a website since they can arouse positive emotions of pleasure, excitement, and domination among users (Chang et al., 2014; Loureiro et al., 2020), constituting their hedonic motivation to use OFD (Kumar and Shah, 2021). Confirming the difficulties encountered by OFD in penetrating the Italian market (Mascarello et al., 2017), however, the use of different digital platforms does not appear to be particularly widespread among study participants. Despite the prevalent propensity to place food orders via mobile networks, this therefore does not seem to translate into actual behavior. Moving instead into the focus of the survey, unfortunately, it denotes that there is still not a full

awareness of the negative implications that this service can lead to if not managed sustainably. While there is a tendency on food waste to re-consume food rather than throw it in the garbage by demonstrating awareness of the issue, the attitude taken on the disposal practices of online delivery food packaging is still mainly confined to separate collection, without paying attention to alternative ways such as washing the packaging in order to reuse it (Liu and Chen, 2021). Due to contamination by food particles, food packaging waste is not easily recycled and often ends up in landfills, incinerators, or is illegally dumped (Song et al., 2018). Anything that is not recycled or recovered from municipal solid waste (MSW) implies a loss of non-renewable natural resources, such as fossil fuels for plastics and forests in the case of paper, as well as other inputs used in the life cycle of packaging materials (Nabavi-Pelesaraei et al., 2017). Similarly, perceptions about the impacts of OFD in terms of CO₂ emissions (Arunan and Crawford, 2021), incentives for sedentariness (Li et al., 2020) and possible social isolation (Maimaiti et al., 2018) appear somewhat limited. By contrast, the contribution of this service to the economic growth of the restaurant sector along with the lack of attention paid to worker protection seem to be the only two issues over which the investigated individuals show greater consciousness. Even applying the gender discriminant yields similar results and it is not possible to identify a greater sensitivity of women with respect to the issue of sustainability, contrary to the findings of other research on the topic.

The present study contributes to a deeper understanding of OFD by using the three pillars of sustainability as a key to investigating consumer approaches with respect to the use of this service. Until now, the literature has mainly focused on the attributes of OFD and related business models, as well as consumer motivations and behaviors with respect to its use (Li et al., 2020). Conversely, scant attention has been paid to the impacts of this sector on the well-being of society and the planet, while these are obvious and not necessarily positive. Beyond the theoretical contributions, this research work offers practical implications, providing interesting insights for professionals and policy makers. In order to raise consumer awareness and promote sustainable conduct, greater commitment is needed from both online food platforms and institutions. Providers of such service could collaborate with packaging manufacturers and restaurants on the development and use of reusable food containers or composed of biodegradable materials, thereby encouraging consumers to adopt environmentally friendly packaging. At the same time, policymakers should facilitate such collaborations and educate individuals on healthy eating habits and responsible waste disposal practices, as well as regulate working conditions for specific categories of the industry.

The research conducted has some limitations that need to be specified for optimal interpretation of the findings obtained. These concern, first of all, the small number of participants in the study (=379), which makes it difficult to generalize the results to the entire Italian population. Moreover, the exclusive focus on consumers living in Italy does not allow to extend the considerations outside national borders, as different cultures might exhibit different approaches to the investigated topic. As the OFD phenomenon is spreading rapidly around the world, future studies could not only expand the sample of Italian respondents, but also explore different countries to understand similarities and differences in the perception of this service from a sustainability perspective.

References

- AHUJA, K., CHANDRA, V., LORD, V., PEENS, C. (2021). Ordering in: The rapid evolution of food delivery. McKinsey & Company, 22.
- ALI, S., KHALID, N., JAVED, H.M.U., ISLAM, D.M.Z. (2020). Consumer adoption of OFD ordering (OFDO) services in Pakistan: The impact of the COVID-19 pandemic situation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(1), 10.
- AMICARELLI, V., LAGIOIA, G., PAMFILIE, R., GROSU, R.M., BUX, C. (2021, June). Food delivery platforms during the COVID-19 pandemic. In 7th BASIQ International Conference on New Trends in Sustainable Business and Consumption, Foggia, Italy (pp. 3-5).
- ARUNAN, I., CRAWFORD, R.H. (2021). Greenhouse gas emissions associated with food packaging for OFD services in Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105299.
- BELARMINO, A., RAAB, C., TANG, J., HAN, W. (2021). Exploring the motivations to use online meal delivery platforms: Before and during quarantine. *International Journal of Hospitality Management*, 96, 102983.
- BLOODHART, B., SWIM, J.K. (2020). Sustainability and consumption: What's gender got to do with it?. *Journal of Social Issues*, 76(1), 101-113.
- BRENNAN, L., LANGLEY, S., VERGHESE, K., LOCKREY, S., RYDER, M., FRANCIS, C., PHAN-LE N.T. HILL, A. (2021). The role of packaging in fighting food waste: A systematised review of consumer perceptions of packaging. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125276.
- CARATU, M. (2018). Il fenomeno del Food Delivery. In *Rapporto Italia* (Vol. 30, pp. 935-947). Minerva.
- CHAI, L.T., YAT, D.N.C. (2019). OFD services: Making food delivery the new normal. *Journal of Marketing advances and Practices*, 1(1), 62-77.
- CHANG, S.H., CHIH, W.H., LIOU, D.K., HWANG, L.R. (2014). The influence of web aesthetics on customers' PAD. *Computers in Human Behavior*, 36, 168-178.
- CHENG, Y.M. (2020). Why do customers intend to continue using internet-based sharing economy service platforms? Roles of network externality and service quality. *Journal of Asia business studies*, 15(1), 128-152.
- CHO, M., BONN, M.A., LI, J.J. (2019). Differences in perceptions about food delivery apps between single-person and multi-person households. *International Journal of Hospitality Management*, 77, 108-116.

- CHOE, J.Y., KIM, J.J., HWANG, J. (2021). Innovative marketing strategies for the successful construction of drone food delivery services: Merging TAM with TPB. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 38(1), 16-30.
- CORVO, P. (2021). Come cambiano i consumi alimentari e la ristorazione. In P. Corvo & M.F. Fontefrancesco (a cura di), *Il cibo nel futuro*. Carocci, Roma.
- Degli Esposti, P., Mortara, A., & Roberti, G. (2021). Sharing and Sustainable Consumption in the Era of COVID-19. *Sustainability*, 13(4), 1903.
- DELOGU, A. (2018). Salute, sicurezza e “nuovi” lavori: le sfide prevenzionali nella gig economy e nell’industria 4.0. *Diritto della sicurezza sul lavoro*, (2), 37-77.
- GANAPATHI, P., ABU-SHANAB, E.A. (2020). Customer satisfaction with on-line food ordering portals in Qatar. *International Journal of E-Services and Mobile Applications (IJESMA)*, 12(1), 57-79.
- HONG, C., CHOI, H.H., CHOI, E.K.C., JOUNG, H.W.D. (2021). Factors affecting customer intention to use OFD services before and during the COVID-19 pandemic. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 48, 509-518.
- HORTA, P.M., SOUZA, J.D.P.M., ROCHA, L.L., MENDES, L.L. (2021). Digital food environment of a Brazilian metropolis: food availability and marketing strategies used by delivery apps. *Public health nutrition*, 24(3), 544-548.
- HWANG, J., LEE, J.S., KIM, J.J., SIAL, M.S. (2021). Application of internal environmental locus of control to the context of eco-friendly drone food delivery services. *Journal of Sustainable Tourism*, 29(7), 1098-1116.
- ILIEVA, J., BARON, S., HEALEY, H.M. (2002). Online surveys in marketing research: pros and cons. *International Journal of Market Research*, 44, 3, 362-380.
- JIA, S.S., GIBSON, A.A., DING, D., ALLMAN-FARINELLI, M., PHONGSAVAN, P., REDFERN, J., PARTRIDGE, S.R. (2022). Perspective: are OFD services emerging as another obstacle to achieving the 2030 united Nations sustainable development Goals?. *Frontiers in Nutrition*, 9, 295.
- KUMAR, S., SHAH, A. (2021). Revisiting food delivery apps during COVID-19 pandemic? Investigating the role of emotions. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 62, 102595.
- KURNIAWAN, S., TANKOMA, A. (2023). The Effect of Perceived Ease of Use and Perceived Enjoyment on Customer Trust and Loyalty in OFD Service. *Binus Business Review*, 14(2), 163-170.

- LANGLEY, S., PHAN-LE, N.T., BRENNAN, L., PARKER, L., JACKSON, M., FRANCIS, C., LOCKREY S., VERGHESE K., ALESSI, N. (2021). The good, the bad, and the ugly: Food packaging and consumers. *Sustainability*, 13(22), 12409.
- LAZARIC, N., LE GUEL, F., BELIN, J., OLTRA, V., LAVAUD, S., DOUAI, A. (2020). Determinants of sustainable consumption in France: the importance of social influence and environmental values. *Journal of Evolutionary Economics*, 30, 1337-1366.
- LEE, P. T. Y., E, F., CHAU, M. (2022). Defining online to offline (O2O): a systematic approach to defining an emerging business model. *Internet Research*, 32(5), 1453-1495.
- LEFEVER, S., DAL, M., MATTHÍASDÓTTIR, Á. (2007). Online data collection in academic research: advantages and limitations. *British journal of educational technology*, 38(4), 574-582.
- LI, C., MIROSA, M., BREMER, P. (2020). Review of OFD platforms and their impacts on sustainability. *Sustainability*, 12(14), 5528.
- LIU, C., CHEN, J. (2021). Consuming takeaway food: Convenience, waste and Chinese young people's urban lifestyle. *Journal of Consumer Culture*, 21(4), 848-866.
- LOUREIRO, S.M.C., BILRO, R.G., JAPUTRA, A. (2020). The effect of consumer-generated media stimuli on emotions and consumer brand engagement. *Journal of Product & Brand Management*, 29(3), 387-408.
- MAIMAITI, M., ZHAO, X., JIA, M., RU, Y., ZHU, S. (2018). How we eat determines what we become: opportunities and challenges brought by food delivery industry in a changing world in China. *European journal of clinical nutrition*, 72(9), 1282-1286.
- MASCARELLO, G., PINTO, A., MARCOLIN, S., CROVATO, S., RAVAROTTO, L. (2017). Ethnic food consumption: Habits and risk perception in Italy. *Journal of Food Safety*, 37(4), e12361.
- MUANGMEE, C., KOT, S., MEEKAWEKUNCHORN, N., KASSAKORN, N., KHALID, B. (2021). Factors determining the behavioral intention of using food delivery apps during COVID-19 pandemics. *Journal of theoretical and applied electronic commerce research*, 16(5), 1297-1310.
- NABAVI-PELESARAEI, A., BAYAT, R., HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H., AFRASYABI, H., BERRADA, A. (2017). Prognostication of energy use and environmental impacts for recycle system of municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 154, 602-613.
- NAYAK, M.S.D.P., NARAYAN, K.A. (2019). Strengths and weaknesses of on-line surveys. *technology*, 6(7), 0837-2405053138.

- OSSERVATORIO JUST EAT ITALIA (2022). La mappa del cibo a domicilio in Italia 2022. Available: <https://www.justeat.it/deals/la-mappa-del-cibo-a-domicilio-2022/> (accessed: 6 September 2023).
- PAPPALARDO, G., CERRONI, S., NAYGA JR, R.M., YANG, W. (2020). Impact of Covid-19 on household food waste: The case of Italy. *Frontiers in nutrition*, 7, 291.
- PIRES, I.M., FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, M.Á., VIDAL-MONES, B., MARTINS, R.B. (2020). The impact of covid-19 lockdown on portuguese households' food waste behaviors. *Human Ecology Review*, 26(1), 59-70.
- RAPPORTO COOP (2021). Economia, consumi e stili di vita degli italiani di oggi e di domani. Available: https://brand-news.it/wp-content/uploads/2022/01/coop-consumi-2021_compressed.pdf (accessed on 6 September 2023).
- RAY, A., DHIR, A., BALA, P.K., KAUR, P. (2019). Why do people use food delivery apps (FDA)? A uses and gratification theory perspective. *Journal of retailing and consumer services*, 51, 221-230.
- SHANKAR, A., DHIR, A., TALWAR, S., ISLAM, N., SHARMA, P. (2022). Balancing food waste and sustainability goals in OFD: Towards a comprehensive conceptual framework. *Technovation*, 117, 102606.
- SONG, G., ZHANG, H., DUAN, H., XU, M. (2018). Packaging waste from food delivery in China's mega cities. *Resources, conservation and recycling*, 130, 226-227.
- SONG, H., RUAN, W.J., JEON, Y.J.J. (2021). An integrated approach to the purchase decision making process of food-delivery apps: Focusing on the TAM and AIDA models. *International Journal of Hospitality Management*, 95, 102943.
- STATISTA, OFD. 2020. Available online: <https://www.statista.com/outlook/dmo/online-food-delivery/worldwide?currency=usd> (accessed on 23 August 2023).
- SUHARTANTO, D., HELMI ALI, M., TAN, K.H., SJAHRUDDIN, F., KUSDIBYO, L. (2019). Loyalty toward OFD service: the role of e-service quality and food quality. *Journal of foodservice business research*, 22(1), 81-97.
- TALWAR, S., KAUR, P., AHMED, U., BILGIHAN, A., DHIR, A. (2023). The dark side of convenience: How to reduce food waste induced by food delivery apps. *British Food Journal*, 125(1), 205-225.
- TANDON, A., KAUR, P., BHATT, Y., MÄNTYMÄKI, M., DHIR, A. (2021). Why do people purchase from food delivery apps? A consumer value perspective. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 63, 102667.
- TRONCA, L., SECONDULFO, D. (2021). Terzo rapporto dell'Osservatorio sui consumi delle famiglie: consumi e consumatori al tempo del Covid-19. Terzo rapporto dell'Osservatorio sui consumi delle famiglie, 1-215.

- TUORILA, H., HARTMANN, C. (2020). Consumer responses to novel and unfamiliar foods. *Current Opinion in Food Science*, 33, 1-8.
- WILLIAMS, G., TUSHEV, M., EBRAHIMI, F., MAHMOUD, A. (2020). Modeling user concerns in sharing economy: the case of food delivery apps. *Automated Software Engineering*, 27, 229-263.
- YAO, P., OSMAN, S., SABRI, M.F., ZAINUDIN, N. (2022). Consumer Behavior in Online-to-Offline (O2O) Commerce: A Thematic Review. *Sustainability*, 14(13), 7842.
- YEO, V.C.S., GOH, S.K., REZAEI, S. (2017). Consumer experiences, attitude and behavioral intention toward OFD (OFD) services. *Journal of Retailing and Consumer services*, 35, 150-162.
- YI, Y., WANG, Z., WENNERSTEN, R., SUN, Q. (2017). Life cycle assessment of delivery packages in China. *Energy Procedia*, 105, 3711-3719.

Possibili effetti benefici del consumo di Feijoa: studio multidisciplinare di frutti di diverse cultivar per potenziali applicazioni in settori merceologici differenziati

Margherita Campo

Università degli Studi di Firenze

Pamela Vignolini

Università degli Studi di Firenze

Patrizia Pinelli

Università degli Studi di Firenze

Chiara Cassiani

Università degli Studi di Firenze

Irene Falsetti

Università degli Studi di Firenze

Gaia Palmini

Università degli Studi di Firenze

Teresa Iantomasi

Università degli Studi di Firenze

Maria Luisa Brandi

Fondazione Italiana Ricerca sulle Malattie dell'Osso

Carolina Santilli

Università degli Studi di Firenze

Stefano Biricolti

Università degli Studi di Firenze

Edgardo Giordani

Università degli Studi di Firenze

Massimo Gori

Università degli Studi di Firenze

ABSTRACT

La Feijoa o “guayabo” (*Feijoa sellowiana* [O. Berg] O.Berg) è una specie arbustiva cespugliosa sempreverde dai frutti e fiori edibili. Nei paesi di origine del Sud America viene consumata come frutta fresca o trasformata mentre in Europa, pur essendosi ben adattata, ha avuto scarso successo a causa di problematiche agronomiche. Questo studio preliminare è stato svolto su frutti di cultivar Apollo a seguito dell'analisi genetica AFLP che ha mostrato scarse differenze genetiche tra cultivar; sono state eseguite analisi pomologiche e fisico-chimiche, la determinazione del contenuto di solidi solubili ed acidità titolabile come indicatori di maturazione, la valutazione *in vitro* dell'attività antiossidante correlata al contenuto di polifenoli totali e la messa a punto di un metodo di caratterizzazione quali-

quantitativa HPLC-DAD-MS dei composti bioattivi polifenolici. Sono stati inoltre testati gli effetti di estratti di polpa sulla vitalità cellulare in un modello *in vitro* di adenocarcinoma del colon-retto over-esprimente il recettore estrogenico β (ER β).

I risultati fin ora ottenuti costituiscono la base per una ricerca finalizzata a mostrare l'impatto del consumo dei frutti di Feijoa sulla salute e sul benessere umano. Effetti positivi potrebbero incentivare il consumo fresco e di conseguenza la produzione e la ricerca di nuove cultivar. Sarà inoltre valutata la prospettiva di realizzare semilavorati e prodotti finiti per settori merceologici differenziati quali principalmente il nutraceutico, sia utilizzando frutti e fiori, sia considerando la possibilità di applicare modelli di economia circolare mediante il recupero delle foglie e della buccia, per le cultivar ove quest'ultima non è edibile.

PAROLE CHIAVE: *Feijoa sellowiana* (O. Berg) O.Berg, polifenoli, HPLC-DAD-MS, AFLP, variabilità genetica, recettore estrogenico β

1 Introduzione



La feijoa o “guayabo” (*Feijoa sellowiana* [O. Berg] O.Berg) è una specie arbustiva cespugliosa sempreverde dai frutti e fiori edibili originaria

del Sud America, in particolare del Brasile meridionale, nord dell'Argentina, Paraguay e Uruguay. Alcune tra le principali cultivar (Apollo, Gemini, Mammoth, Triumph) sono state selezionate dopo l'esportazione e la diffusione della pianta in Nuova Zelanda, nel XX secolo (Schotsmans et al., 2011), mentre in tempi più recenti nuove cultivar sono state selezionate in Brasile e in Colombia. Nei paesi di origine del Sud America viene consumato il frutto fresco o trasformato di feijoa, mentre in Europa, pur essendosi ben adattata, la pianta ha avuto scarso successo a causa di problematiche agronomiche ed è presente solo a scopo ornamentale, se si escludono i pochi impianti specializzati presenti nelle aziende siciliane, dove negli ultimi anni si sono diffuse anche altre specie tropicali come mango e avocado. Anche il fiore viene utilizzato a scopo alimentare come prodotto di nicchia, poiché possiede un sapore particolarmente dolce. Le caratteristiche della feijoa rendono necessaria una scelta mirata delle cultivar e delle pratiche agronomiche per la coltivazione, oltre a una corretta gestione delle fasi di raccolta, trasporto e stoccaggio dei frutti per poter mantenere gli adeguati standard qualitativi. La refrigerazione e la conservazione in atmosfera modificata permettono di mantenere intatti più a lungo i frutti nonostante la scarsa resistenza a urti e pressione in seguito a cui tendono ad ammaccarsi e annerire per l'alto contenuto di polifenoli. In tempi recenti, studi scientifici hanno messo in evidenza le caratteristiche nutrizionali dei frutti di feijoa, che si mostrano ricchi in potassio, calcio, acido ascorbico, folati e polifenoli a fronte di un ridotto contenuto in lipidi e colesterolo; tali caratteristiche conferiscono ai frutti la capacità di contribuire alla salute e al benessere dei consumatori grazie agli effetti antiossidanti, antinfiammatori e antimicrobici (Aoyama et al., 2018; Zhu et al., 2018). L'accresciuto interesse verso il consumo dei frutti freschi e trasformati ha incrementato il potenziale della feijoa nello sviluppo di colture sostenibili e le possibilità di commercializzazione sia nei Paesi di origine, sia in Italia, grazie alla crescente attenzione verso il *made in Italy* anche per specie tradizionalmente importate. Una caratterizzazione approfondita della composizione e delle proprietà dei frutti potrebbe costituire una base per incentivare la ricerca di nuove cultivar e promuovere la diffusione di questa coltura. In sede preliminare è stata svolta una ricerca sulla variabilità genetica con lo scopo di caratterizzare le cultivar della specie *Acca sellowiana* per valutare le accessioni da utilizzare per le successive analisi. L'analisi genetica ha tuttavia evidenziato una variabilità molto ridotta tra le diverse cultivar commerciali e nessuna accessione si è particolarmente distinta dalle altre, per cui sono state scelte 4 delle più importanti ('Gemini', 'Triumph', 'Apollo' e 'Mammoth') per le analisi quantitative dei frutti e la cultivar Apollo anche per gli aspetti chimici e biologici.

Sui frutti sono state eseguite analisi pomologiche e fisico-chimiche, la determinazione del contenuto di solidi solubili ed acidità titolabile come indicatori di maturazione, la valutazione *in vitro* dell'attività antiossidante correlata al contenuto di polifenoli totali e la messa a punto di un metodo di caratterizzazione quali-quantitativa HPLC-DAD-MS dei composti polifenolici noti per le loro proprietà biologiche. Sono stati inoltre testati gli effetti di estratti di polpa sulla vitalità cellulare in un modello *in vitro* di adenocarcinoma del colon-retto over-esprimente il recettore estrogenico β (ER β). I risultati ad ora ottenuti costituiscono la base per una ricerca finalizzata a mostrare l'impatto del consumo dei frutti di feijoa sulla salute e sul benessere umano. La prosecuzione dello studio sarà volta ad approfondire gli attuali risultati e a valutare le possibilità di utilizzo di semilavorati e prodotti finiti a base di frutti e fiori in settori quali quello degli alimenti funzionali, ma sarà presa in esame anche la possibilità di applicare modelli di economia circolare mediante il recupero dei frutti inadatti al mercato del fresco, delle foglie ed altri scarti, per applicazioni in settori merceologici differenziati quali il nutraceutico, il cosmetico o la mangimistica animale, secondo l'esempio di modelli già applicati per altre filiere dell'agroindustria (Romani et al., 2020; Chamorro et al., 2022; Abad et al., 2023).

2 Metodologia

Un precedente studio, non ancora pubblicato, ha evidenziato una ridotta variabilità genetica su una popolazione di 131 accessioni di feijoa costituite sia da cultivar selezionate provenienti da diverse parti del mondo, sia da piante originarie dell'area di speciazione nella regione subtropicale di Misiones in Argentina. Nonostante l'elevata rappresentatività del campione delle cultivar selezionate la variabilità genetica riscontrata è stata estremamente bassa e nessuna accessione o gruppo di accessioni si è distinta in modo particolare. Le accessioni provenienti dall'area di speciazione si sono invece diversificate e hanno evidenziato un livello molto più alto di variabilità genetica. Tenendo in considerazione i suddetti risultati la scelta dei frutti da analizzare è stata limitata ad alcune cultivar commerciali ('Gemini', 'Triumph', 'Apollo' e 'Mammoth') per gli aspetti pomologici, e sulla cultivar "Apollo" per le analisi chimiche e biochimiche, in base alla disponibilità di frutti certificati.

2.1 Materiale vegetale per analisi pomologica

I frutti di 4 cultivar di *Feijoa sellowiana*, 'Gemini', 'Triumph', 'Apollo' e 'Mammoth', sono stati conservati inizialmente a 4 °C per meno di una settimana, prima del loro utilizzo per le analisi.

Tutti i frutti di ciascuna cultivar sono stati raccolti in Italia. I 7 frutti 'Triumph' e gli 8 frutti 'Gemini' provengono da CREA-OFA (Caserta), gli 8 frutti 'Mammoth' dall'Az. Agr. Versil Green (Massarosa, Lucca) e i 57 frutti 'Apollo' sono stati offerti da un agricoltore locale a Firenze.

2.2 Analisi pomologica e qualitativa

Per la valutazione del grado di maturazione dei frutti sono state considerate le caratteristiche pomologiche e qualitative in accordo con Sánchez-Mora et al. (2019).

Le caratteristiche analizzate includono la lunghezza (mm) e il diametro equatoriale (mm) dei frutti, determinando così anche il rapporto lunghezza/diametro. Il colore della buccia dei frutti valutato tramite colorimetro portatile 3nh NH310 (Shenzhen ThreeNH Technology Co., Ltd), che ha permesso di misurare i valori di L^* (luminosità), a^* (asse verdone-rosso), b^* (asse blu-giallo), C^* (chroma) e h (hue). A partire dalla cultivar 'Apollo', 32 frutti sono stati selezionati per l'analisi distruttiva, mentre per le altre cultivar sono stati utilizzati tutti i frutti disponibili. La durezza della buccia (kg/cm^2) è stata valutata tramite penetrometro TR 53200 (T.R. Turoni Srl) con puntale da 8 mm. Il peso (g) dei frutti interi, delle polpe e delle bucce è stato misurato tramite bilancia di precisione Sartorius TE 1502S (Sartorius AG), ottenendo così il rapporto polpa/frutto intero in percentuale, chiamata resa polpa.

Il contenuto dei solidi solubili (TSS, °Brix) della polpa è stato misurato tramite rifrattometro a mano TR 53002 (T.R. Turoni Srl). Per valutare le differenze di acidità titolabile tra le cultivar (TA, % acido citrico), circa 1 g di polpa è stata prelevata da ciascun frutto delle cultivar 'Gemini', 'Triumph' e 'Mammoth'. Invece, i frutti della cultivar 'Apollo' sono stati divisi in 2 gruppi in base ai valori di TSS, bassi valori (<14 °Brix) e alti valori (≥ 14 °Brix). Approssimativamente 1 g di polpa è stata prelevata da 7 e 8 frutti di ciascun gruppo, rispettivamente. I 5 *bulk* di polpa ottenuti sono stati diluiti in 600 mL di acqua distillata e divisi in 4 aliquote ciascuno.

Il pH iniziale di ciascuna aliquota è stato misurato tramite Crison pH meter BasiC 20 (Hach Lange Spain, S.L.U.) e sono state successivamente titolate con NaOH 0.1 N fino al raggiungimento di pH 8.2.

Il risultato è espresso in percentuale di acido citrico, tramite la formula:

$$TA = (W_{eq} \times N \times V_{NaOH}) \times 100/W_p$$

Dove W_{eq} è il peso equivalente dell'acido citrico monoidrato, 0.07 g/mEq; N è la normalità della soluzione di NaOH utilizzata; V_{NaOH} è il

volume (mL) di NaOH necessario a far raggiungere alla soluzione pH di 8.2; W_p è il peso del *bulk* utilizzato. Inoltre, è stato determinato il rapporto tra il contenuto dei solidi solubili e l'acidità titolabile (TSS/TA). Le polpe e le bucce dei frutti sono state conservate a -20°C .

2.3 Contenuto in polisaccaridi e polifenoli, attività antiossidante *in vitro*

Per l'estrazione dei polisaccaridi, 10.0g di polpa liofilizzata sono stati polverizzati ed estratti mediante decozione in 400mL di acqua deionizzata. L'estratto è stato centrifugato a 5000 rpm a -2°C per 10 minuti, quindi il solido è stato eliminato e al surnatante sono stati aggiunti 700mL di etanolo 96%; la miscela è stata mantenuta in bagno di ghiaccio per 1h, ottenendo la formazione di un gel che è stato separato dalla soluzione mediante passaggio su setaccio a maglie di 1.5 mm e centrifugato ad una temperatura di -2°C per 20 minuti. La soluzione limpida è stata recuperata per ripetere la stessa procedura. Il solido ottenuto è stato liofilizzato fino a completa essiccazione e pesato. Per l'estrazione dei polifenoli, 15.0g di polpa liofilizzata sono stati polverizzati ed estratti in 100.0mL di una miscela 70:30 EtOH:H₂O acidificata a pH 3.2 per aggiunta di acido formico, sotto agitazione meccanica, a temperatura ambiente per 24h. L'estratto è stato filtrato e centrifugato a 14000 rpm per eliminare i residui di matrice solida, quindi riportato ad un volume esatto di 100.0mL col solvente di estrazione.

Le analisi HPLC-DAD-MS sono state effettuate utilizzando un cromatografo liquido HP-1260 munito di un rivelatore DAD e uno spettrometro di massa HP 1100 MSD API-electrospray (Agilent Technologies) operante in positivo e in negativo, con una colonna Poroshell EC C18 150×3.0mm, 4 μm (Agilent) termostata a 26°C . Gli eluenti utilizzati sono H₂O, acidificata a pH 3.2 per aggiunta di acido formico, e acetonitrile. È stato applicato un gradiente lineare a più step partendo da 100% acqua fino a 100% acetonitrile, ad un flusso di 0.7mL/min per un tempo totale di 80 minuti. L'identificazione dei singoli composti è stata effettuata mediante tempi di ritenzione e dati spettrofotometrici e spettrometrici, mediante il confronto con standard specifici ove disponibili e con i dati presenti in letteratura. La quantificazione è stata effettuata in HPLC/DAD usando curve di regressione a 5 punti con $R^2 > 0.9998$, alle lunghezze d'onda di massima assorbanza UV-Vis, applicando la correzione dei pesi molecolari. I derivati dell'acido ellagico sono stati calibrati con acido ellagico a 254nm; le procianidine sono state calibrate a 280nm con catechina idrato. Le analisi sono state eseguite in triplicato ottenendo deviazioni standard inferiori al 5%. Il saggio spettrofotometrico con reattivo di Folin-Ciocalteu è stato eseguito aggiungendo 125 μL di campione opportunamente diluito a 500 μL di H₂O e a 125 μL di reattivo; dopo 6

minuti di incubazione sono stati aggiunti 1.25mL di soluzione satura di Na_2CO_3 e 1.00mL di H_2O e la soluzione mantenuta in incubazione al buio per 85 minuti. I campioni sono stati quindi centrifugati per 5 minuti a 5000 rpm ed è stata misurata l'assorbanza a 725nm. Il contenuto in fenoli è stato determinato usando una curva di calibrazione a 5 punti in acido gallico ed espresso in GAE (Gallic Acid Equivalents).

2.4 Saggio di attività lisosomiale *in vitro*

Al fine di valutare possibili effetti antiproliferativi delle molecole fitoestrogeniche contenute nell'estratto di feijoa, le HCT8- β 8, cellule di adenocarcinoma di colon trasfettate con il vettore plasmidico pCZN2-hER β al fine di overesprimere il recettore estrogenico β (ER β) (Martineti et al., 2005), sono state trattate con l'estratto idro-alcologico ottenuto dalla polpa della feijoa per la valutazione dei lisosomi, vescicole intracellulari indicatori dello stato di vitalità cellulare. La rilevazione della formazione dei lisosomi è stata condotta mediante colorazione della linea cellulare con l'Arancio di Acridina (AO), un colorante che ha la caratteristica di essere metacromatico.

La metacromasia dell'AO è dovuta al fatto di essere un composto organico permeabile, in grado di emettere fluorescenza nel verde o nel rosso in seguito rispettivamente al legame al DNA o all'RNA. Inoltre, l'AO permette di evidenziare, ove presenti eventuali differenze citosoliche di pH. Se il pH citosolico è 7.4-7.5, le molecole di AO si distanziano tra loro ed emettono fluorescenza intorno a 530nm (verde/giallo). Viceversa, se il pH citosolico è acido (condizione che ad esempio si verifica proprio all'interno delle vescicole lisosomiali), le molecole protonate di AO formano aggregati che precipitano nel citoplasma ed emettono fluorescenza intorno a 630 nm (rosso).

Le HCT8- β 8 sono state coltivate a 37°C, in atmosfera umidificata al 5% di CO_2 , in terreno di coltura RPMI-1640 addizionato con 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ di penicillina, 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ di streptomina, 1mmol/L di sodio piruvato, 2mmol/L di L-glutammina e con 280,45 $\mu\text{g}/\text{mL}$ di geneticina (terreno completo) con 10% di siero fetale bovino (SFB). Per la determinazione della vitalità cellulare, le cellule sono state piastrate in mw da 24 ad una densità di $2,5 \times 10^3/\text{pozzetto}$ in terreno completo contenente il 5% di SFB. Dopo 72 ore, le cellule sono trattate o non con l'estratto idro-alcologico della polpa di feijoa contenente 30 μM di polifenoli totali. Il mezzo di coltura con o senza l'estratto di feijoa è stato cambiato ogni 2/3 giorni.

Dopo 7 giorni di trattamento (168 ore totali), le cellule lavate tre volte con tampone fosfato salino (PBS) sono state incubate a 37°C, in atmosfera umidificata al 5% di CO_2 con una soluzione allo 0,2% di AO in PBS per 5 minuti. Successivamente, dopo tre lavaggi con PBS, è stato aggiunto il terreno di coltura RPMI-1640 addizionato di fosfato per evitare

la sofferenza cellulare durante il periodo di osservazione al microscopio confocale LSM-900 (Zeiss). Le cellule sono state, quindi, osservate in microscopia confocale laser e le immagini acquisite tramite il software ZEN 3.1 (Zeiss).

3 Discussione dei risultati

L'analisi genetica tramite marcatori AFLP ha mostrato come la variabilità delle cultivar commerciali sia bassa contrariamente alle accessioni argentine. È nostra opinione che le cultivar commerciali attualmente coltivate nel mondo abbiano avuto origine da un numero limitato di individui ancestrali raccolti nel centro di origine della specie sul cui *pool* genico è stato successivamente interamente basato il miglioramento genetico finora condotto, giustificando quindi la ridotta variabilità tra le accessioni.

Per il presente studio sono state quindi scelte 4 delle più importanti ('Gemini', 'Triumph', 'Apollo' e 'Mammoth') per le analisi qualitative dei frutti e la cultivar Apollo anche per gli aspetti chimici e biologici.

3.1 Caratteristiche pomologiche e qualitative

Il peso dei frutti è molto variabile tra le cultivar, da un minimo di 24.60 ± 6.33 g (Mammoth) ad un massimo di 59.29 ± 8.46 g (Triumph), mentre tra Triumph e Gemini non si sono riscontrate differenze significative (Tabella 1). Tra la lunghezza e il diametro è presente una relazione (il rapporto L/D) che permette di descrivere la forma dei frutti, poiché valori uguali a 1 indicano frutti sferici.

I frutti di feijoa analizzati mostrano una forma oblunga e resa della polpa statisticamente non differente tra le varie cultivar. Al contrario, la durezza della buccia è estremamente variabile sia all'interno delle cultivar che tra queste (Tabella 1). I valori ottenuti nelle cultivar Mammoth e Apollo indicano frutti di dimensioni minori rispetto a quanto trovato in letteratura (Pasquariello et al., 2015, Patterson, 1990).

Tuttavia, è importante notare come i valori presenti in questo lavoro rientrano nella variabilità delle caratteristiche generali della feijoa riportate da Schotsmans et al. (2011), ed anche i frutti Gemini e Triumph mostrano caratteristiche pomologiche coerenti con Pasquariello et al. (2015). Il colore di base della buccia dei frutti è il verde, con variazioni tra il marrone (Apollo) e il verde scuro (Triumph). La cultivar Triumph presenta mediamente buccia più scura, caratterizzata da luminosità di 41.87 ± 2.15 , mentre Apollo è la più chiara con luminosità media di 46.85 ± 3.22 . Gemini e Mammoth mostrano invece valori intermedi come riportati nella

Tabella 1. Questi valori differiscono da quelli presentati da Yimeng et al. (2023), in cui i valori L^* delle cultivar Triumph e Apollo sono maggiori ed anche i valori di a^* risultano più tendenti al verde, con la cultivar Apollo che ha inoltre valore b^* più tendente al blu rispetto a quanto misurato.

Parametro	Cultivar			
	Triumph	Gemini	Apollo	Mammoth
Peso (g)	59.29 ± 8.46 a	59.01 ± 3.08 a	37.80 ± 9.70 b	24.60 ± 6.33 c
Lunghezza (mm)	59.57 ± 3.95 a	57.12 ± 3.23 a	56.89 ± 5.67 a	43.12 ± 5.67 b
Diametro (mm)	42.29 ± 2.69 a	43.62 ± 1.51 a	35.77 ± 3.60 b	34.12 ± 2.03 b
Rapporto L/D	1.41 ± 0.16 b	1.29 ± 0.08 b	1.59 ± 0.15 a	1.25 ± 0.09 b
Resa polpa (%)	35.35 ± 2.42 a	41.74 ± 1.51 a	40.61 ± 6.61 a	36.24 ± 2.74 a
Durezza (kg/cm ²)	7.00 ± 3.14 a	5.77 ± 2.61 a	1.07 ± 0.57 b	1.41 ± 0.72 b
L^*	41.87 ± 2.15 b	45.00 ± 3.51 ab	46.85 ± 3.22 a	45.69 ± 1.73 ab
a^*	-6.53 ± 0.96 b	-7.88 ± 1.72 b	-3.55 ± 1.48 a	-6.92 ± 0.95 b
b^*	20.14 ± 3.14 c	20.86 ± 3.34 c	34.52 ± 3.51 a	26.34 ± 3.11 b
C^*	21.24 ± 2.78 c	22.42 ± 2.81 c	34.72 ± 3.55 a	27.24 ± 3.01 b
h	108.41 ± 4.76 b	123.36 ± 30.52 a	96.06 ± 2.33 c	104.85 ± 2.59 bc

Tabella 1 – Valori medi del peso, diametro (D), lunghezza (L), rapporto L/D, resa polpa e durezza dei frutti interi e valori medi delle caratteristiche cromatiche (L^* , a^* , b^* , C^* , h) della buccia di frutti di feijoa (*Feijoa sellowiana*).

I valori sono espressi come media ± deviazione standard.

Per i vari parametri è stata effettuata un'analisi della varianza (ANOVA) a un fattore e test di Tukey per il confronto multiplo. Lettere diverse per lo stesso parametro indicano valori significativamente differenti con $p < 0.05$

Il rapporto zuccheri/acidi, espresso come rapporto TSS/TA, contribuisce al sapore caratteristico del frutto ed è quindi un indicatore della maturità commerciale e organolettica. Durante il processo di maturazione, gli acidi vengono degradati, il contenuto zuccherino aumenta e così il rapporto zuccheri/acidi aumenta (OECD, 2015). Nella Figura 1 si osserva come i valori del TSS sono simili tra le cultivar, con l'Apollo che è quella con valore significativamente minore (0.26 ± 0.05 % acido citrico),

e risultano coerenti con quanto riportato in letteratura (Parra-Coronado et al., 2015; Pasquariello et al., 2015; Sun-Waterhouse et al., 2013; Schotsmans et al., 2011).

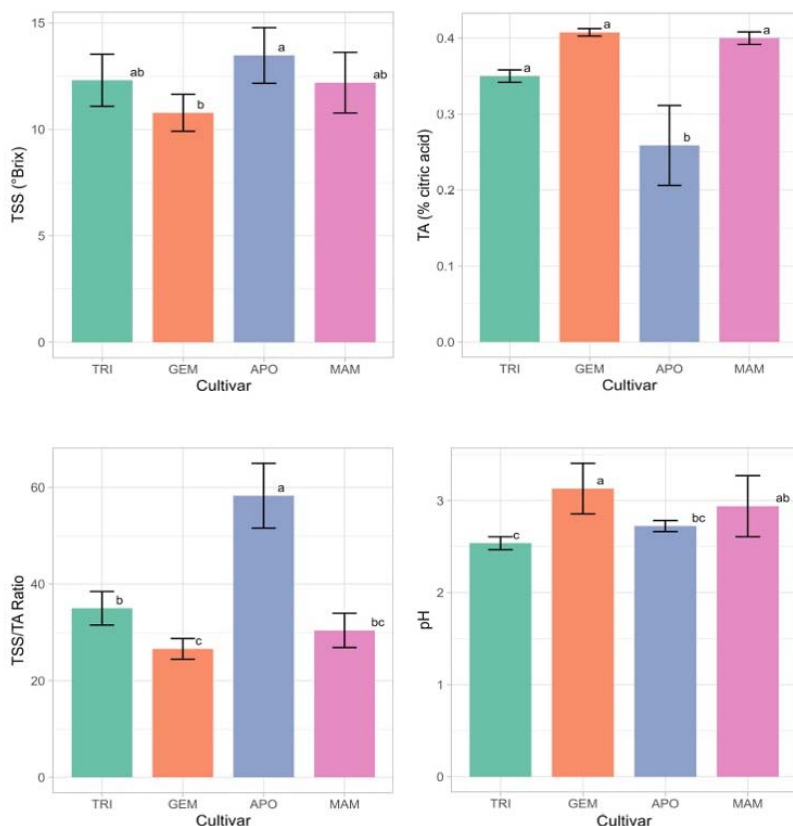


Figura 1 – Contenuto dei solidi solubili (TSS), acidi titolabili (TA), rapporto TSS/TA e pH della polpa di di frutti di feijoa (*Feijoa sellowiana*). TRI=Triumph; GEM=Gemini; APO=Apollo; MAM = Mammoth

Anche i valori di TA sono in accordo con Sánchez-Mora et al. (2019) e Pasquariello et al. (2015). Il rapporto TSS/TA varia molto tra le varie cultivar e quella con valore maggiore è l’Apollo, ad indicare una predominanza del sapore dolce su quello acido. I pH della polpa differiscono da un massimo di 3.13 ± 0.28 (Gemini) ad un minimo di 2.54 ± 0.07 (Triumph), anche se sono presenti alcune similarità tra le cultivar come mostrato nella Figura 1.

3.2 Contenuto in polisaccaridi e polifenoli, attività antiossidante *in vitro*

Per quanto riguarda il contenuto in polisaccaridi dei frutti di feijoa 'Apollo', è stata valutata la resa in peso di polisaccaridi totali per poi, nelle successive fasi di studio, procedere ad una caratterizzazione più approfondita da punto di vista sia qualitativo che quantitativo. Seguendo la metodologia sopra descritta (par. 2.3), da 10g di polpa liofilizzata sono stati estratti 0.64g di polisaccaridi, con una resa del 6.4%. Considerando il contenuto medio in acqua perso con la liofilizzazione (83%), la resa in polisaccaridi totali è 1.1% rispetto alla polpa fresca. La consistenza gelatinosa dei polisaccaridi precipitati aggiungendo etanolo al decotto sembra confermare la presenza di pectine come precedentemente riportato (Bell et al., 2018); come sopra specificato, per una caratterizzazione approfondita della componente polisaccaridica del campione verranno effettuate ulteriori analisi nelle fasi successive dello studio. Il profilo cromatografico HPLC-DAD-MS dell'estratto di polpa liofilizzata indica una composizione complessa in polifenoli, costituita da molecole con massimo di assorbimento UV-Vis principalmente a 254nm e 280nm, con pesi molecolari compresi tra 302Da (acido ellagico) e 936Da (casuarictina/potentillina). Le simili proprietà cromatografiche tra i composti presenti in miscela rendono difficile la messa a punto di un metodo analitico che permetta una separazione efficiente dei singoli polifenoli e una completa risoluzione dei picchi cromatografici. Alcuni dei composti polifenolici presenti, allo stato attuale non definitivamente identificati, sono riportati nella tabella sottostante come altri derivati ellagici e sono stati calibrati come acido ellagico (e), o come derivati ellagici calibrati in acido ellagico e corretti per il peso molecolare (9 e 10).

	Composto	mg/g polpa liofilizzata	mg/g polpa fresca
1	Pedunculagina isomero I	0.091	0.016
2	Pedunculagina isomero II	0.164	0.028
3	HHDP-glucosio	0.023	0.004
f	Derivato flavonoidico	tracce	tracce
4	Casuarictina/potentillina	0.028	0.005
5	Acido ellagico esoside I	0.020	0.003
6	Acido ellagico arabinoside I	0.059	0.010
7	Acido ellagico arabinoside II	0.012	0.002
8	Acido ellagico esoside II	0.017	0.003

9	Acido ellagico derivato m/z 491	0.120	0.020
10	Acido ellagico derivato m/z 423	0.024	0.004
e	Altri derivati ellagici	0.163	0.028
11	Procianidina dimero I	0.147	0.025
12	Procianidina dimero II	0.337	0.057
13	Procianidina dimero III	0.079	0.013
Totale		1.284	0.218

Tabella 2 – Analisi HPLC-DAD-MS dei composti polifenolici nella polpa di feijoa

L'analisi quali-quantitativa dei metaboliti secondari polifenolici, la cui metodologia è tuttora in corso di ottimizzazione, ha permesso fin ora di identificare e quantificare i composti riportati in Tabella 2, appartenenti alle sottoclassi dei tannini idrolizzabili (in particolare derivati di acido ellagico e HHDP-glucosio: composti 1-10 e composti contrassegnati con "e") e dei tannini condensati (procianidine, presenti come dimeri in tre diverse forme isomeriche, composti 11-13), mentre è stato rilevato un solo flavonoide in tracce. Il totale di polifenoli riportato in tabella si riferisce ai composti che il metodo analitico permette di isolare e identificare allo stato attuale dello studio, e non necessariamente al totale dei polifenoli presenti per i quali tale metodo richiede un'ulteriore elaborazione; si considerano quindi affidabili i dati quantitativi relativi ai singoli composti identificati, mentre il totale costituito dalla loro somma rappresenta sicuramente una sottostima del quantitativo di polifenoli presenti nella polpa di feijoa. I risultati fin ora ottenuti, dal punto di vista qualitativo, concordano con i dati disponibili in letteratura (Weston, 2010; Aoyama et al., 2018; de Oliveira Schmidt et al., 2020). L'attività antiossidante è stata determinata mediante saggio spettrofotometrico *in vitro* con reattivo di Folin-Ciocalteu, che fornisce una stima di tale attività correlata con il contenuto in fenoli e polifenoli totali. Il saggio indica un contenuto in fenoli/polifenoli totali di 8.07 ± 1.01 mg/g GAE (Gallic Acid Equivalents) rispetto al peso di polpa liofilizzata (1.37 mg/g GAE rispetto al peso di polpa fresca con un contenuto in acqua dell'83%). L'ottimizzazione dei metodi analitici per caratterizzare la polpa di feijoa è tuttora in corso, ma i risultati ad oggi ottenuti indicano la presenza di un interessante contenuto in polisaccaridi, verosimilmente pectine, e soprattutto di una grande varietà di polifenoli appartenenti per la quasi totalità alle sottoclassi dei tannini sia idrolizzabili che condensati, caratterizzati da numerose proprietà biologiche tra cui l'attività antiossidante, per la quale è stata effettuata una valutazione *in*

vitro. La prosecuzione dello studio permetterà una caratterizzazione qualitativa completa e approfondita del contenuto polisaccaridico e polifenolico della matrice oggetto di studio.

3.3 Saggio attività lisosomiale *in vitro*

È stato dimostrato che il recettore estrogenico β (ER β), ha un ruolo protettivo sulla mucosa nell'insorgenza del cancro del colon, pertanto, l'allestimento di un modello cellulare overesprimente questo recettore, come la linea cellulare HCT8- β 8, permette sia di valutare *in vitro* il ruolo di ER β nella tumorigenesi del colon sia di studiare come i fitoestrogeni, molecole di origine vegetale che presentano un'analogia strutturale con il 17 β -estradiolo, ligando endogeno naturale di ER β , si leghino al recettore e quali possano essere gli effetti di tale legame sulla tumorigenesi del colon. Per lo studio della vitalità cellulare è stata inizialmente valutata la formazione dei lisosomi che, sebbene siano normalmente presenti all'interno delle cellule, svolgendo la funzione di eliminare ciò che alla cellula non è più necessario, aumentano in condizioni di stress cellulare.

I risultati ottenuti mostrano che le HCT8- β 8 non trattate con l'estratto (controllo) presentavano una fluorescenza verde brillante ed omogenea (Figura 2A), mentre quelle trattate con l'estratto di feijoa assumevano una fluorescenza verde pallida con un numero maggiore di lisosomi, evidenziati da un colore rosso/arancio brillante (Figura 2B).

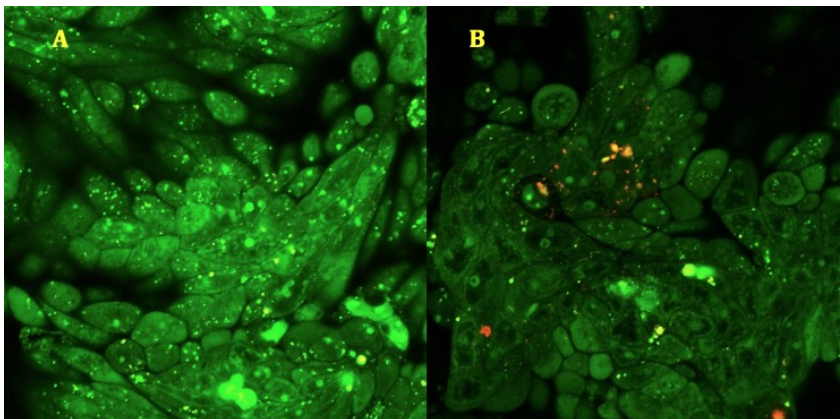


Figura 2 – Saggio attività lisosomiale. Le HCT8- β 8 sono state trattate con l'estratto di feijoa per 168h e successivamente colorate con AO. Le HCT8- β 8 non trattate (controllo) emettono una fluorescenza verde brillante (A), al contrario le HCT8- β 8 trattate emettono una fluorescenza verde meno intensa e in queste si possono osservare i lisosomi, evidenziati da una fluorescenza brillante rosso/arancio (B).

osservazione in LSM con colori convenzionali. Obiettivo: 63X a immersione

4 Conclusioni

Feijoa sellowiana presenta valide prospettive di sviluppo nell'agricoltura biologica grazie alla sua elevata capacità di adattarsi a diverse condizioni agronomiche e alla sua bassa suscettibilità a parassiti e malattie (Schotsmans et al., 2011). Tuttavia, questa pianta rimane una specie sottoutilizzata tra i frutti e le verdure, principalmente a causa della sua presenza stagionale sul mercato e della limitata area di coltivazione in tutto il mondo (Vatrano et al., 2022). I pregressi risultati dell'analisi genetica suggeriscono che un migliore sfruttamento delle risorse genetiche presenti nei centri di origine della specie potrebbe essere fondamentale per futuri progetti di miglioramento genetico per la ricerca di caratteri in grado di esaltare le caratteristiche nutraceutiche del frutto. Inoltre, una caratterizzazione quali-quantitativa approfondita della composizione e delle proprietà dei frutti potrebbe costituire una base per incentivare il consumo e promuovere la diffusione di questa coltura.

In Figura 3 sono schematizzati i risultati ottenuti in questo studio preliminare che ha coinvolto competenze in più settori, con attività che vanno dall'analisi genetica, alla caratterizzazione pomologica e qualitativa dei frutti, alla messa a punto di metodi estrattivi ed analitici per il contenuto in metaboliti attivi, fino alla valutazione preliminare dell'attività biologica *in vitro*.

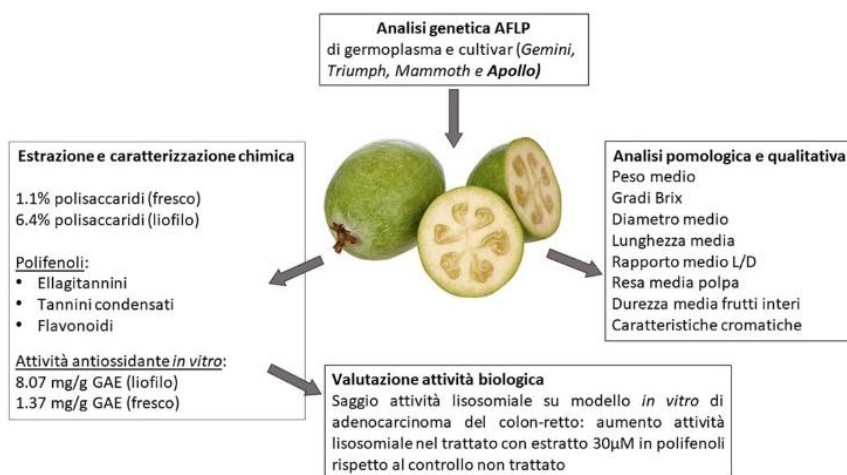


Figura 3 – Schema riassuntivo dei risultati ottenuti

L'analisi pomologica e qualitativa evidenzia come i frutti siano

altamente variabili tra le cultivar e all'interno della cultivar stessa, ciò è dovuto probabilmente alle caratteristiche ambientali e all'età della pianta, come evidenziato anche in molti altri studi (Pasquariello et al., 2015; Sánchez-Mora et al., 2019; Fischer et al., 2020). Pertanto, ad oggi è difficile poter utilizzare questi parametri, in particolare la lunghezza, il diametro e il colore della buccia, come riferimenti per determinare il periodo di maturazione dei frutti. Al contrario, le caratteristiche chimiche della polpa, quali TSS e TA, rappresentano indici di maturazione più consistenti e affidabili. Lo sviluppo di nuove cultivar con qualità superiori dei frutti e maggiore adattabilità ai diversi ambienti rappresenta un fattore cruciale per l'ottimizzazione della gestione agronomica, al fine di garantire una regolarità dei frutteti commerciali. Per questo, sono già in corso ulteriori analisi genetiche tramite *marker* AFLP su campioni fogliari per ampliare le conoscenze genetiche e genomiche e semplificare il miglioramento genetico di questa specie e delle sue cultivar.

La caratterizzazione chimica della polpa dei frutti di feijoa 'Apollo' ha permesso di rilevare la presenza di polisaccaridi, probabilmente pectine, e di un'ampia varietà di polifenoli appartenenti alle sottoclassi dei tannini idrolizzabili e dei tannini condensati. Tali composti sono caratterizzati da importanti proprietà biologiche che rendono il frutto di feijoa capace di apportare benefici se consumato fresco o trasformato, ma lo rendono adatto anche all'ipotesi di eventuali ulteriori utilizzi come ingrediente in prodotti destinati al settore nutraceutico o degli alimenti funzionali (Serrano et al., 2009; Zhu, 2018; Fraga-Corral et al., 2021). Diversi studi hanno ad oggi dimostrato che un'alimentazione ricca in frutta e verdura aiuta a prevenire l'incidenza di diversi tumori e questo sembra essere effettivamente in parte legato all'alto contenuto di polifenoli che ritroviamo in questi alimenti (Maiuolo et al., 2021; Bakrim et al., 2022). *In vitro* è stato dimostrato che tali molecole naturali possono avere un effetto antiproliferativo, antinfiammatorio e antiossidante, limitando la tumorigenesi (Pampaloni et al., 2014; Zhou et al., 2016). Considerando che i polifenoli, grazie alla loro analogia strutturale con l'estrogeno endogeno, il 17 β -estradiolo, sono in grado di ridurre la tumorigenesi del colon, in questo studio siamo andati ad analizzare per la prima volta se anche i polifenoli contenuti nell'estratto della polpa della feijoa possano avere effetti analoghi. I primi dati ottenuti dall'analisi dell'attività lisosomiale nel modello cellulare scelto di adenocarcinoma del colon overesprimente il ER β trattato con l'estratto con una concentrazione di polifenoli totali di 30 μ M, hanno mostrato un aumento dell'attività lisosomiale rispetto alle cellule non trattate, dimostrando come l'estratto sia in grado di indurre uno stress cellulare nella cellula tumorale, compromettendone la vitalità. Alla luce di questo primo risultato ottenuto, si può ipotizzare che i polifenoli contenuti nella polpa

di feijoa possano svolgere un ruolo antineoplastico nella tumorigenesi del colon, nonché un possibile ruolo protettivo. Sono oggi in corso ulteriori test *in vitro* per confermare il dato ottenuto, per indagare i meccanismi molecolari e cellulari che possono essere alla base dell'effetto antitumorale della feijoa, e per valutare se gli effetti dei polifenoli in essa contenuti siano dovuti alla loro possibile interazione con il ER β .

Ulteriori studi saranno volti alla valutazione di modelli di economia circolare, mediante il recupero dei frutti inadatti al consumo in alimentazione umana e l'utilizzo in settori differenziati, dalla mangimistica animale alla produzione di semilavorati e specifici materiali (Bell et al., 2018; Fonseca et al., 2023), o mediante la caratterizzazione e l'utilizzo delle foglie e della buccia, per le cultivar ove quest'ultima non è edibile (Moradian et al., 2019; Cebi et al., 2021; Santos et al., 2021). I risultati dello studio potrebbero incentivare la produzione e la ricerca di nuove cultivar di feijoa in Italia, dove attualmente è presente solo come specie ornamentale, ma anche nei Paesi di origine della pianta (Brasile, Argentina, Paraguay, Uruguay), con la creazione di nuove filiere e nuove sinergie, e le conseguenti positive ricadute a livello socio-economico.

Bibliografia

- AOYAMA, H., SAKAGAMI, H., HATANO, T. (2018). Three new flavonoids, proanthocyanidin, and accompanying phenolic constituents from *Feijoa sellowiana*. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 82(1), 31-41.
- BAKRIM, S., EL OMARI, N., EL HACHLAFI, N., BAKRI, Y., LEE, L.H., BOUYAHYA, A. (2022). Dietary Phenolic Compounds as Anticancer Natural Drugs: Recent Update on Molecular Mechanisms and Clinical Trials. *Foods*, 11(21), 3323.
- BELL, T.J., DRAPER, S.L., CENTANNI, M., CARNACHAN, S.M., TANNOCK, G.W., SIMS, I.M. (2018). Characterization of polysaccharides from feijoa fruits (*Acca sellowiana* Berg.) and their utilization as growth substrates by gut commensal *Bacteroides* species. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(50), 13277-13284.
- CEBI, N., SAGDIC, O. (2021). Characterization of *Feijoa sellowiana* leaves based on volatile and phenolic compound compositions and antimicrobial properties. *Food Science and Technology*, 42, e14221.
- DE OLIVEIRA SCHMIDT, H., ROCKETT, F.C., KLEN, A.V.B., SCHMIDT, L., RODRIGUES, E., TISCHER, B., RIOS, A.D.O. (2020). New insights into the phenolic compounds and antioxidant capacity of feijoa and cherry fruits cultivated in Brazil. *Food Research International*, 136, p. 109564.
- FISCHER, GERHARD, ALFONSO PARRA-CORONADO, HELBER ENRIQUE BALAGUERA-LÓPEZ (2020). Aspects of Crop and Physiology of Feijoa (*Acca sellowiana* [Berg] Burret). A Review. *Ciencia y Agricultura* 17.3, 11-24.
- FONSECA, N.V.B., CARDOSO, A.D.S., BAHIA, A.S.R.D.S., MESSANA, J.D., VICENTE, E.F., REIS, R.A. (2023). Additive tannins in ruminant nutrition: An alternative to achieve sustainability in animal production. *Sustainability*, 15(5), 4162.
- FRAGA-CORRAL, M., OTERO, P., ECHAVE, J., GARCIA-OLIVEIRA, P., CARPENA, M., JARBOUI, A., PRIETO, M.A. (2021). By-products of agri-food industry as tannin-rich sources: A review of tannins' biological activities and their potential for valorization. *Foods*, 10(1), 137.
- MAIUOLO, J., GLIOZZI, M., CARRESI, C., MUSOLINO, V., OPPEDISANO, F., SCARANO, F., MOLLACE, V. (2021). Nutraceuticals and cancer: Potential for natural polyphenols. *Nutrients*, 13(11), 3834.

- MARTINETI, V., PICARIELLO, L., TOGNARINI, I., SALA, S.C., GOZZINI, A., AZZARI, C., BRANDI, M.L. (2005). ER β is a potent inhibitor of cell proliferation in the HCT8 human colon cancer cell line through regulation of cell cycle components. *Endocrine-related cancer*, 12(2), 455-469.
- MORADIAN, M., GANJLOO, A., BIMAKR, M. (2019). Effect of feijoa leaf polysaccharides on the physicochemical and sensory properties of low fat yogurt during storage. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 14(2), 105-115.
- OECD (2015). Guidelines on Objective Tests. OECD, 1-38. <<https://www.oecd.org/agriculture/fruit-vegetables/publications/oecd-guidelines-fruit-vegetables.htm>>
- PAMPALONI, B., PALMINI, G., MAVILIA, C., ZONEFRATI, R., TANINI, A., BRANDI, M.L. (2014). In vitro effects of polyphenols on colorectal cancer cells. *World journal of gastrointestinal oncology*, 6(8), 289.
- PARRA-CORONADO, ALFONSO, GERHARD FISCHER, JESÚS HERNÁN CAMACHO-TAMAYO (2015). Development and quality of pineapple guava fruit in two locations with different altitudes in Cundinamarca, Colombia. *Bragantia* 74, 359-366.
- PASQUARIELLO, MARIA SILVIA, FRANCESCO MASTROBUONI, DONATELLA DI PATRE, LUIGI ZAMPELLA, LAURA RITA CAPUANO, MARCO SCORTICHINI, MILENA PETRICCIONE (2015). Agronomic, nutraceutical and molecular variability of feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret) germplasm. *Scientia Horticulturae* 191, 1-9.
- PATTERSON, K.J. (1990). Effects of pollination on fruit set, size, and quality in feijoa (*Acca sellowiana* [Berg] Burret). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 18.2-3, 127-131.
- SÁNCHEZ-MORA, FERNANDO DAVID, LUCIANO SAIFERT, MARLISE NARA CIOTTA, HUMBERTO NUNES RIBEIRO, VANESSA SAMARA PETRY, ET AL. (2019). Characterization of Phenotypic Diversity of Feijoa Fruits of Germplasm Accessions in Brazil. *Agrosystems, Geosciences & Environment* 2.1.
- SANTOS, P.H., KAMMERS, J.C., SILVA, A.P., OLIVEIRA, J.V., HENSE, H. (2021). Antioxidant and antibacterial compounds from feijoa leaf extracts obtained by pressurized liquid extraction and supercritical fluid extraction. *Food Chemistry*, 344, 128620.
- SCHOTSMANS, W.C., W.C. EAST, G. THORP, A.B. WOOLF (2011). 6 - Feijoa (*Acca sellowiana* [Berg] Burret). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing, 115-135e.

- SERRANO, J., PUUPPONEN-PIMIÄ, R., DAUER, A., AURA, A.M., SAURA-CALIXTO, F. (2009). Tannins: current knowledge of food sources, intake, bioavailability and biological effects. *Molecular nutrition & food research*, 53(S2), S310-S329.
- SUN-WATERHOUSE, DONGXIAO, WEI WANG, GEOFFREY I.N. WATERHOUSE, SANDHYA S. WADHWA (2013). Utilisation Potential of Feijoa Fruit Wastes as Ingredients for Functional Foods. *Food and Bioprocess Technology* 6, 3441-3455.
- VATRANO, THOMAS, MARGHERITA AMENTA, ANDREA COPETTA, MARIA GUARDO, ANGELINA NUNZIATA, MARIA CONCETTA STRANO, MILENA PETRICCIONE (2022). Multifunctional Role of *Acca sellowiana* from Farm Management to Postharvest Life: A Review. *Agronomy* 12.8.
- WESTON, R.J. (2010). Bioactive products from fruit of the feijoa (*Feijoa sellowiana*, Myrtaceae): A review. *Food Chemistry*, 121(4), 923-926.
- YIMENG, ZHAO, ARIEFANDIE FEBRIANTO NOOR, ZHU FAN (2023). Characterization of physicochemical properties, flavor volatiles and phenolic compounds of feijoa fruit varieties. *Food Chemistry* 419, 136074.
- ZHOU, Y., ZHENG, J., LI, Y., XU, D.P., LI, S., CHEN, Y.M., LI, H.B. (2016). Natural polyphenols for prevention and treatment of cancer. *Nutrients*, 8(8), 515.
- Zhu, F. (2018). Chemical and biological properties of feijoa (*Acca sellowiana*). *Trends in Food Science & Technology*, 81, 121-131.

Realizzazione di una polvere lievitante innovativa per la preparazione di biscotti funzionali

Donatella Restuccia

Università della Calabria

Gianfranco Umile Spizzirri

Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

Maria Lisa Clodoveo

Università degli Studi Bari

Pasquale Crupi

Università di Teramo

Maria Martuscelli

Università di Teramo

Luigi Esposito

Università di Teramo

Francesca Aiello

Università della Calabria

ABSTRACT

Negli ultimi anni il recupero, il riutilizzo e la valorizzazione di scarti della filiera agroalimentare ha rappresentato un aspetto fondamentale nella valutazione dell'ecosostenibilità dei processi industriali. Nel presente lavoro, la sansa di olive proveniente da due cultivar differenti (*cv Carolea e Leccino*), è stata sottoposta a processi estrattivi con solventi a diversa polarità e selettività. L'estratto della cultivar Carolea trattato con una miscela acqua/etanolo 70:30 si è dimostrato l'estratto più performante in termini di resa e concentrazione di molecole bioattive, come dimostrato dalla valutazione dei fenoli totali, flavonoidi, acidi fenolici ed attività antiossidante, come pure dalla caratterizzazione LC-DAD che ha permesso di identificare e quantificare tirosolo, idrossitirolo, luteolina e naringenina. Successivamente, mediante reazione grafting, è stato ottenuto un coniugato polimerico tra l'estratto di sansa e l'amido di mais che ha dimostrato ottime proprietà antiossidanti. Il polimero funzionalizzato è stato utilizzato come parte integrante di una polvere lievitante per la preparazione di biscotti fortificati che hanno mostrato un'aumentata shelf-life, come pure migliori caratteristiche nutrizionali e salutistiche, principalmente imputabili alle molecole bioattive provenienti dall'estratto.

PAROLE CHIAVE: Polvere lievitante, sansa di olive, coniugazione polimerica, antiossidanti, biscotti funzionali, economia circolare.

1 Introduzione

Nel comparto dei prodotti da forno, i biscotti rappresentano uno dei segmenti trainanti, il cui mercato, a livello globale, si prevede possa raggiungere nel 2025 i 44 miliardi di dollari (Grand View Research, 2023). Nell'immediato futuro, ci si aspetta che la domanda aumenterà per la richiesta di paesi emergenti con aumentata disponibilità di spesa, mentre continuerà a non conoscere flessione la domanda nei paesi industrializzati dove l'uso di biscotti, soprattutto al cioccolato è straordinariamente diffuso, sia tra gli adulti che tra i bambini. L'enorme popolarità dei biscotti dipende in parte dalle loro caratteristiche organolettiche (dolcezza e friabilità, in particolare), ma anche da valutazioni più squisitamente commerciali quali la facile reperibilità, l'enorme varietà di prezzo, gusto, quantità, forma ed imballaggio. Tutto ciò rende i biscotti facili da comprare e conservare per poi essere consumati in qualsiasi luogo e/o momento della giornata (Gór-ska-Warsewicz et al., 2023: 433-450).

Al fine di soddisfare ogni possibile richiesta dei consumatori, i produttori hanno proposto negli anni numerose tipologie di frollini, inclusi quelli dedicati a regimi alimentari di spiccata impronta salutistica (i.e. vegani, con farine integrali, multi-cereale, senza zucchero, senza glutine, etc...). In quest'ottica, anche la possibilità di applicare una fortificazione attraverso l'aggiunta di composti bioattivi di origine naturale, rappresenta un trend di sicuro interesse per il settore; le migliorate caratteristiche nutrizionali, infatti, insieme alla spiccata versatilità, potrebbero rendere questi biscotti innovativi di utile impiego anche nell'ambito di programmi internazionali di nutrizione o di primo soccorso in zone di guerra o durante disastri naturali (Cappelli et al., 2021: 275-284; Birch e Bonwick, 2019: 1467-1485).

Tra le possibili scelte di fortificazione, l'aggiunta di composti in grado di prevenire fenomeni ossidativi rappresenta certamente una delle più interessanti, grazie alla diffusione in natura e alle riconosciute azioni benefiche che questi composti esercitano nei confronti dell'organismo (Visioli et al., 2011: 524-546). Tra le numerose matrici vegetali su cui operare l'estrazione di molecole antiossidanti, gli scarti di produzione elaiotecnica (i.e., sansa e acque di vegetazione) hanno suscitato da sempre un grande interesse, sia per la quantità che per la qualità degli estratti ottenibili (Difonzo G. et al., 2021: 5-26). D'altro canto, l'ingente quantitativo prodotto (in Italia, circa 2,5-3,0 Ml/anno), concentrato nel tempo (Settembre-Dicembre) e nello spazio (bacino del Mediterraneo), l'elevato impatto ambientale e gli alti costi di trattamento e smaltimento (circa il 50% dei costi di produzione) rendono questi sottoprodotti candidati ideali per una strategia eco-sostenibile di gestione e valorizzazione. In particolare, la sansa è

il sottoprodotto solido eterogeneo che rimane dopo l'estrazione dell'olio dalle olive (Dermeche et al., 2013: 1532-1552), costituita dall'epicarpo delle drupe (bucce), residui di polpa e frammenti di nocciolo. La quantità, la composizione e il valore commerciale dipendono in larga misura del metodo di estrazione applicato (Klen, e Vodopivec, 2012:267-274). In particolare, la lavorazione delle olive attraverso un processo a tre fasi, presenta una resa media del 15 - 22% in oli di oliva vergini, di circa il 30% in sansa vergine di oliva, mentre la restante parte è rappresentata dalle acque di vegetazione. Per contro, attraverso un processo a due fasi, si ottiene un sottoprodotto semisolido composto da sansa di oliva umida (70%), con valore commerciale ridotto e molto più difficile e costoso da smaltire (Roig, Cayuela e Sánchez-Monedero, 2006: 960-969).

Visto il contenuto generalmente elevato di composti bioattivi (in particolare composti fenolici), non sorprende come l'aggiunta di estratti di sansa a prodotti alimentare possa rappresentare una strategia vantaggiosa di fortificazione (Spizzirri et al., 2021: 5497-5505; Nunes et al., 2016: 139-148). Ciononostante, questo tipo di approccio non può prescindere da tutta una serie di parametri che rendano accettabile la funzionalizzazione, tra cui l'accessibilità della materia prima da cui ricavare i composti di interesse, il miglioramento effettivo del prodotto da un punto di vista nutrizionale, l'ammissibilità legale del nuovo prodotto, come pure l'accettazione da parte del consumatore (Carocho et al., 2018: 107-120). Inoltre, quando si valuta una nuova formulazione alimentare, la semplice aggiunta di estratti vegetali complessi pone diverse limitazioni. Spesso, infatti, gli estratti naturali presentano odori e sapori incompatibili con la matrice alimentare da funzionalizzare, altre volte i composti fenolici coinvolti risultano poco stabili in ambiente acquoso o subiscono ossidazione ad opera di luce e/o calore, altre ancora mostrano scarsa solubilità e biodisponibilità (Parisi et al., 2013: 29-45). In questo senso, un sistema di veicolazione controllato quale la coniugazione polimerica, può certamente migliorare la stabilità di questi composti aumentandone al contempo solubilità e biodisponibilità (Zhao et al., 2019: 118642; Parisi et al., 2013: 29-45). Considerando gli ingredienti necessari alla preparazione di qualsiasi biscotto, l'amido rappresenta la scelta più vantaggiosa in quanto già presente sia nella farina come pure come coadiuvante tecnologico all'interno della polvere lievitante.

In questo contesto, il presente lavoro di ricerca ha avuto come obiettivo la preparazione e l'applicazione di una polvere lievitante funzionalizzata con estratti di sansa (*cv Carolea e Leccino*) a biscotti gluten-free a base di farina di riso. Il processo di estrazione è stato ottimizzato e gli estratti ottenuti caratterizzati in termini sia di performances antiossidanti, sia mediante cromatografia liquida. Successivamente, al fine di ottenere un prodotto con un valore nutrizionale aggiunto rispetto al convenzionale, il

migliore estratto è stato introdotto nella matrice alimentare attraverso la preparazione di una polvere lievitante contenente il coniugato polimerico tra amido e composti antiossidanti. Le migliorate caratteristiche dei prodotti funzionalizzati (polvere lievitante e biscotti) sono state anch'esse valutate in confronto ai loro corrispondenti non funzionalizzati.

2 Metodologia

Amido di mais, acido gallico, (+)-catechina idrata, acido L-ascorbico, H_2O_2 al 30%, reagente Folin-Ciocalteu, Na_2CO_3 , radicale 2,2'-difenil-1-picrilidrazide (DPPH), radicale 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonico) (ABTS), Na_2MoO_4 , $NaNO_2$, $AlCl_3$, HCl, NaOH, etanolo assoluto (EtOH), acqua depurata (H_2O), acetone (ACT), tetraidrofurano (THF), acetonitrile (CH_3CN), carta da filtro (Whatman No. 3), membrane per dialisi (MWCO: 12000-14000 Da), sono stati acquistati da Sigma Aldrich (Sigma Chemical Co., St Louis, MO, USA).

2.1 Strumentazione analitica

Le procedure di estrazione sono state eseguite tramite sonicazione utilizzando vasca ad ultrasuoni AU-32 (ARGOLAB, 40000 Hz). Le tecniche di centrifugazione sono state eseguite utilizzando la centrifuga ALC Multispeed Centrifuge Thermo Electron Corporation. Il processo di essiccazione è stato effettuato mediante il liofilizzatore Micro Modulyo, Edwards. I valori di assorbanza dei campioni sono stati ottenuti utilizzando lo spettrofotometro UV-vis Jasco V-530 (Jasco Inc., Easton, MD, USA). Le operazioni di evaporazione del solvente, durante la fase di estrazione, sono state eseguite mediante evaporatore rotante BUCHI.

2.2 Estrazione della frazione polifenolica dalla sansa di olive

La sansa umida utilizzata nel presente lavoro di tesi sperimentale è stata fornita dall'azienda Vinciprova S.r.l. di San Vincenzo la Costa (CS) ed è riferita alla stagione olearia 2018. Le cultivar prese in esame sono Lecicino (MGLS) e Carolea (MGSC)

I campioni sono stati conservati a $-20^\circ C$. La sansa umida (50 g) di ciascuna *cultivar* è stata sottoposta a lavaggio con n-esano (150 ml) per 4 h sotto agitazione. Dopo filtrazione, il solido recuperato è stato poi essiccato per 24 h e poi estratto con quattro miscele di solventi a diversa polarità. A 20 g di campione sono stati aggiunti 105 mL di solvente organico e 45 mL di acqua depurata (etanolo/acqua depurata (70:30 v/v), acetone/acqua depurata (70:30 v/v), tetraidrofurano/acqua depurata (70:30 v/v), acetonitrile/acqua depurata (70:30 v/v)). La procedura estrattiva è stata condotta

mediante estrazione assistita da ultrasuoni a 40°C per trenta minuti, al termine dei quali la soluzione è stata centrifugata per 10 minuti a 9000 rpm. Successivamente il surnatante è stato sottoposto ad evaporazione; l'acqua residua è stata definitivamente allontanata attraverso liofilizzazione.

2.3 Analisi quali-quantitativa UHPLC-DAD dei composti presenti negli estratti di sansa

La separazione e l'identificazione quali/quantitativa dei composti polifenolici contenuti negli estratti di sansa, sono state condotte usando un sistema UHPLC 1290 Infinity (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA) equipaggiato con una pompa quaternaria, un compartimento colonna termostata, un auto campionatore, un detector UV a serie di diodi (DAD). I campioni, risolubilizzati nello stesso volume (-1,5 mL) di acqua/solvente organico 30:70, sono stati iniettati (ad un volume di 1,1 µL) in una colonna a fase inversa, Zorbax Extend C₁₈ 50 x 2,1 mm, 1,8 µm (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA), in gradiente di eluizione (solvente A – H₂O/HCOOH 0,1%, solvente B – CH₃CN). La temperatura della colonna è stata mantenuta a 40°C e la velocità di flusso della fase mobile è stata impostata a 0,441 mL min⁻¹. La lunghezza d'onda (λ_{\max}) per la rivelazione UV è stata settata a 280, 320 e 360 nm per la determinazione, rispettivamente, di fenoli semplici, acidi fenolici e flavonoidi. L'identificazione dei composti è stata condotta combinando posizione del massimo di assorbimento (λ_{\max}) e caratteristiche dello spettro e ordine di eluizione per confronto con quelli ottenuti da standard puri. La quantificazione dei composti identificati, è stata ottenuta usando le curve di calibrazione nel range di concentrazione 100 – 1,25 mg mL⁻¹ dell'idrossitirosole ($R^2 = 0,9985$) e della luteolina ($R^2 = 0,9977$).

2.4 Determinazione del contenuto totale di polifenoli negli estratti di sansa

Per la determinazione della quantità totale di polifenoli è stato condotto il saggio di Folin-Ciocalteu (Spizzirri et al., 2009: 1923-1930). A 6,0 ml di una soluzione di estratto sono state aggiunti 1,0 ml di reattivo Folin-Ciocalteu e, dopo tre minuti al buio, 3,0 ml di Na₂CO₃. Dopo 2 h l'assorbanza è determinata spettrofotometricamente a 760 nm. La quantità totale di polifenoli è stata espressa in milligrammi di acido gallico per grammo di estratto (mg di GAE/g estratto) utilizzando una retta di taratura di acido gallico a diverse diluizioni.

2.5 Determinazione del contenuto totale di acidi fenolici negli estratti di sansa

Per la determinazione del contenuto totale di acidi fenolici è stato

impiegato il saggio di Arnov (Gawlik-Dziki et al., 2009: 137-143). A 1,0 mL di soluzione di estratto sono aggiunti 5,0 mL di acqua depurata, 1,0 mL di HCL ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$), 1,0 mL di reattivo di Arnov (preparato con 10,0 g di molibdato di sodio e 10,0 g di nitrito di sodio solubilizzati in 100 mL di acqua depurata), 1,0 mL di idrossido di sodio (4% m/v) e acqua depurata fino a 10,0 mL. Successivamente l'assorbanza è stata spettrofotometricamente valutata a 490 nm. La quantità totale di acidi fenolici è stata valutata utilizzando la relativa retta di taratura ed è stata espressa in milligrammi di acido gallico per grammo di estratto (mg di GAE/g estratto).

2.6 Determinazione del contenuto totale di flavonoidi negli estratti di sansa

Per la determinazione del contenuto totale di flavonoidi è stato condotto il saggio riportato in letteratura con qualche modifica (Ardestani e Yazdanparast, 2007: 21-29). A 0,5 mL di soluzione di estratto sono stati aggiunti 2,0 mL di acqua depurata e 0,15 mL di una soluzione di NaNO_2 (15 % m/v). Dopo 6 minuti al buio sono stati aggiunti 0,15 mL di AlCl_3 (10% m/v) e dopo altri 6 minuti al buio 2,0 mL di idrossido di sodio (4% m/v) e acqua depurata fino a 5,0 mL. Dopo 15 min al buio, l'assorbanza è stata spettrofotometricamente valutata a 510 nm. La quantità totale di flavonoidi è stata misurata utilizzando la relativa retta di taratura ed è stata espressa in milligrammi di catechina anidra per grammo di estratto (mg di CT/g estratto).

2.7 Valutazione dell'attività antiossidante negli estratti di sansa

L'attività scavenging in ambiente organico degli estratti è stata valutata in termini di riduzione del radicale 2,2'-difetil-1-picrilidrazile (DPPH^{*}), utilizzando la procedura riportata in letteratura con qualche adattamento (Shalaby e Shanab, 2013: 556-564). A soluzioni idroalcoliche di estratto a concentrazioni note sono stati aggiunti 5,0 mL di radicale DPPH e il volume è portato a 10,0 mL. I campioni sono stati posti al buio per 20 minuti e l'assorbanza è stata valutata allo spettrofotometro a 517 nm. L'attività scavenging sul radicale lipofilo DPPH è stata espressa in termini di IC_{50} .

L'attività scavenging in fase acquosa degli estratti è stata determinata in termini di riduzione della specie radicalica 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonico) (ABTS^{*}), come riportato in letteratura (Shalaby e Shanab, 2013: 556-564). Il radicale ABTS è stato preventivamente preparato mediante incubazione di ABTS ($7,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$) e persolfato di potassio ($2,45 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$) in acqua depurata, al buio e a temperatura ambiente per una notte. La soluzione è stata diluita con acqua fino a raggiungere un'assorbanza di 1,20, misurata a 734 nm. A 0,1-0,5 mL delle soluzioni idroalcoliche degli estratti MGLC e MGCS sono stati aggiunti 2,0 mL di

radicale ABTS e acqua fino a 2,5 mL. I campioni sono stati mantenuti al buio per circa 6 minuti e l'assorbanza è stata misurata a 734 nm. L'attività scavenging del sistema analizzato è stata espressa in termini di IC₅₀.

2.8 Sintesi e caratterizzazione del coniugato polimerico

La sintesi del coniugato polimerico è stata condotta secondo le modalità riportate in letteratura (Spizzirri et al., 2010: 333-340) con qualche modifica. In un pallone di reazione sono stati solubilizzati 500 mg di amido di mais in 25,0 mL di acqua depurata; a completa solubilizzazione dell'amido sono stati aggiunti 12,5 mL di H₂O₂ (120 v) e 250 mg di acido ascorbico. La soluzione è stata mantenuta sotto agitazione e dopo 2 h è stato aggiunto un quantitativo di estratto (solubilizzato precedentemente in 12,5 mL di acqua depurata) equivalente a 105 mg di acido gallico, calcolato opportunamente tramite il saggio Folin-Ciocalteu. La soluzione del polimero è stata successivamente purificata tramite dialisi (MWCO: 12-14.000 Dalton) in acqua depurata per 72 h. Terminata la dialisi la soluzione è stata liofilizzata. È stato inoltre preparato un secondo polimero come controllo nelle stesse condizioni, ma in assenza di estratto (polimero bianco). Sul polimero funzionalizzato e sul controllo sono stati effettuati tutti i saggi colorimetrici (polifenoli totali, acidi fenolici, flavonoidi e attività antiossidante) già effettuati sugli estratti.

2.9 Preparazione e caratterizzazione della polvere lievitante funzionalizzata

Il coniugato antiossidante ottenuto dalla reazione di grafting è stato utilizzato come ingrediente nella preparazione di una polvere lievitante funzionalizzata, contenente 1,00 g di amido funzionalizzato, 0,39 g di NaCl, 0,56 g di tartrato di potassio e 0,27 g di Na₂CO₃. Analogamente, è stata preparata una polvere lievitante utilizzando l'amido non funzionalizzato (polvere lievitante bianco). Infine, è stata utilizzata anche una polvere lievitante presente in commercio. Le tre polveri sono state analizzate in termini di gruppi fenolici presenti e attività antiossidante.

2.10 Preparazione dei biscotti

La polvere lievitante funzionalizzata è stata utilizzata come ingrediente nella preparazione di biscotti con attività antiossidante, utilizzando i seguenti ingredienti: 60 g di farina di riso, 14 g di burro, 12 g di uovo, 27 g di zucchero, 1,87 g di polvere lievitante funzionalizzata e 6 g di acqua. Tutti gli ingredienti riportati nella ricetta sono stati acquistati in un supermercato locale. Sono stati preparati, inoltre, due biscotti utilizzando sia la polvere lievitante a base di amido di mais non funzionalizzato, sia utilizzando la polvere lievitante commerciale. Dopo la miscelazione degli ingre-

dienti, si è proceduto alla divisione dell'impasto in parti uguali, alla modellazione e all'inserimento all'interno di stampini circolari per poi procedere alla cottura in forno (225°C per otto minuti). Successivamente, i biscotti sono stati lasciati raffreddare e conservati a temperatura ambiente prima dell'analisi.

2.11 Estrazione dei biscotti e caratterizzazione degli estratti

I tre campioni di biscotti (biscotto funzionalizzato, biscotto bianco e biscotto commerciale) sono stati analizzati dal punto di vista antiossidante lo stesso giorno che sono stati preparati. L'estrazione è stata condotta pesando 1 g di biscotto, sospeso in 7,0 mL di una miscela etanolo/acqua 50:50 (v/v) e sottoponendo a sonicazione per 15 minuti a temperatura ambiente. La sospensione è stata sonicata per 10 minuti a 8.000 rpm e sul liquido surnatante sono stati effettuati i saggi colorimetrici per la valutazione delle proprietà antiossidanti.

3 Discussione dei risultati

3.1 Estrazione e caratterizzazione degli estratti di sansa

È noto che l'efficacia di un processo estrattivo a carico di una matrice vegetale complessa, dipende primariamente dalle caratteristiche del substrato, ma anche dal solvente utilizzato, dal tipo di tecnica utilizzata e dai parametri sperimentali applicati (Belwal et al., 2018: 82-102). In particolare, è necessario massimizzare la disgregazione e successiva dissoluzione di ciascun composto a livello cellulare nel materiale vegetale e la diffusione delle biomolecole nei solventi estrattivi impiegati. Attualmente i solventi più comunemente impiegati per estrarre composti fenolici da matrici vegetali includono acqua, etanolo, metanolo, acetone e acetato di etile, puri o in miscela (Sukor et al., 2021: 110437). Tuttavia, il processo di estrazione presenta lo svantaggio di utilizzare grandi quantità di questi solventi, che sono generalmente volatili, infiammabili, non degradabili e tossici (Ivanović et al., 2018: 67-76). Nel presente lavoro, la sansa di olive è stata estratta nelle stesse condizioni mediante l'impiego di solventi a diversa polarità, ma la scelta della metodica estrattiva da impiegare per la realizzazione del polimero funzionalizzato è stata guidata principalmente dall'ecosostenibilità del processo. A tal fine, l'estrazione assistita da ultrasuoni ha consentito di ottenere buoni risultati limitando al massimo l'impatto ambientale dell'intera procedura (Tabella 1). Gli ultrasuoni sono onde sonore ad alta frequenza che causano cicli di espansione e compressione nella materia. In un mezzo liquido, le onde che vengono prodotte dal suono creano delle bolle crescenti, le quali entrando in contatto con la matrice, forzano il solvente

a penetrare ed a trascinare i composti affini per quest'ultimo verso l'esterno. Questa tecnica permette di operare a basse temperature e tempi brevi, riducendo il consumo di solventi, evitando danni termici e preservandone le proprietà strutturali e bioattive (Goldsmith et al., 2018: 284-290).

Campioni			Condizioni di estrazione		Resa		
Sigla	Massa (g)	Solvente	Volume (mL)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	g	%
MGLS1	20	Acqua/ etanolo 30/70 (v/v)	150	40	30	0,750	3,75
MGLS2	20	Acqua/ acetone 30/70 (v/v)	150	40	30	0,779	3,89
MGLS3	20	Acqua/ acetone 30/70 (v/v)	150	40	30	0,718	3,59
MGLS4	20	Acqua/THF 30/70 (v/v)	150	40	30	1,133	5,66
MGCS1	20	Acqua/ etanolo 30/70 (v/v)	150	40	30	1,180	5,80
MGCS2	20	Acqua/ acetone 30/70 (v/v)	150	40	30	1,225	6,12
MGCS3	20	Acqua/ acetone 30/70 (v/v)	150	40	30	1,143	5,71
MGCS4	20	Acqua/THF 30/70 (v/v)	150	40	30	1,677	8,38

Tabella 1 – Parametri di estrazione assistita mediante ultrasuoni dalla sansa Carolea e Leccino

MGLS1= Sansa Leccino in acqua/etanolo; MGLS2= Sansa Leccino in acqua/acetone; MGLS3 = Sansa Leccino in acqua/acetone; MGLS4= Sansa Leccino in acqua/THF; MGCS1= Sansa Carolea in acqua/etanolo; MGCS2= Sansa Carolea in acqua/acetone; MGCS3= Sansa Carolea in acqua/acetone; MGCS4= Sansa Carolea in acqua/THF

Dall'analisi dei dati riportati in tabella 1 si evince che per gli estratti della cultivar Leccino, l'estrazione in acqua/etanolo, acqua/acetone ed in acqua/acetonitrile, diano sia in termini di resa sia di quantità di sostanza secca ottenuta, dei valori molto simili tra loro, mentre dall'estrazione condotta mediante l'impiego di acqua/THF, si ottengano dei valori leggermente più elevati.

La medesima situazione si può osservare anche per gli estratti ottenuti dalla cultivar Carolea, sebbene i quantitativi e le rese di ciascuna estrazione risultino essere maggiori rispetto a quelli ottenuti dalla cultivar Leccino.

Il profilo fenolico (espresso come mg di acido gallico equivalente (GAE) per grammo di estratto) e l'attività antiossidante (espressa in termini di IC₅₀), sono riportati in tabella 2.

Campioni	Gruppi fenolici disponibili (mg GAE/g estratto)	IC ₅₀ (mg mL ⁻¹)	
		Radicale DPPH	Radicale ABTS
MGLS1	48,33	0,08	0,031
MGLS2	32,95	0,11	0,049
MGLS3	216,66	0,09	0,039
MGLS4	96,66	0,10	0,048
MGCS1	75,07	0,10	0,042
MGCS2	38,33	0,19	0,026
MGCS3	146,21	0,15	0,055
MGCS4	148,12	0,17	0,051

Tabella 2 – Contenuto totale di polifenoli e attività antiossidante degli estratti

MGLS1= Sansa Leccino in acqua/etanolo; MGLS2= Sansa Leccino in acqua/acetone;
MGLS3= Sansa Leccino in acqua/acetonitrile; MGLS4= Sansa Leccino in acqua/THF;
MGCS1= Sansa Carolea in acqua/etanolo; MGCS2= Sansa Carolea in acqua/acetone;
MGCS3= Sansa Carolea in acqua/acetonitrile; MGCS4= Sansa Carolea in acqua/THF.

GAE = Acido Gallico Equivalente; DPPH = 2,2'-difenil-1-picrilidrazile;

ABTS = 2,2'-azino - bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonico)

Nonostante prevalga il quantitativo fenolico dell'estratto ottenuto impiegando come solvente di estrazione acqua/acetonitrile 30:70 v/v (216,66 mg GAE/g estratto), è opportuno considerare il quantitativo fenolico piuttosto soddisfacente rilevato per gli estratti ottenuti impiegando solventi di estrazione più blandi. Questi risultati, considerando anche il

vantaggio di un solvente di estrazione ecocompatibile, rendono certamente più interessante l'estratto idroalcolico rispetto ad altre miscele con impatto ambientale notevolmente superiore.

Riguardo l'attività antiossidante si nota come gli estratti ottenuti dalla miscela etanolo/acqua delle cultivar *Carolea* e *Leccino* presentino un valore di IC_{50} in ambiente organico (0,10 e 0,08 mg mL⁻¹, rispettivamente) più basso rispetto agli altri estratti. Lo stesso avviene nei confronti del radicale ABTS tranne nel caso dell'estratto MGCS2. Tenendo conto anche dell'elevato quantitativo di fenoli presente, della buona resa di estrazione, e dell'uso di un solvente ecocompatibile, l'estratto MGCS1 è sembrato quello su cui puntare maggiormente l'attenzione nelle fasi successive dello studio.

A completamento della caratterizzazione antiossidante degli otto estratti investigati, è stato determinato il contenuto totale di acidi fenolici e di flavonoidi espressi come mg di catechina (CT) per grammo di estratto (Tabella 3) (Munteanu e Apetrei, 2020: 3380-3409). Entrambe le famiglie rappresentano classi di composti presenti abbondantemente in natura. Si trovano internamente oppure sulla superficie di vari organi vegetali e sono sintetizzati dalle piante come metaboliti secondari, svolgendo numerose funzioni fisiologiche (Visioli et al., 2011: 524-546). I dati mostrati in tabella 3 mostrano, come prevedibile, un andamento piuttosto eterogeneo delle concentrazioni totali nelle differenti miscele di estrazione.

Campioni	Acidi fenolici disponibili (mg GAE/g estratto)	Flavonoidi disponibili (mg CT/g di estratto)
MGLS1	42,90	33,77
MGLS2	27,62	27,56
MGLS3	37,14	31,15
MGLS4	79,44	65,39
MGCS1	26,51	42,47
MGCS2	43,12	25,24
MGCS3	29,95	19,85
MGCS4	51,09	49,51

Tabella 3 – Contenuto totale di acidi fenolici negli estratti di sansa

MGLS1= Sansa Leccino in acqua/etanolo; MGLS2= Sansa Leccino in acqua/acetone;
MGLS3= Sansa Leccino in acqua/acetone; MGLS4= Sansa Leccino in acqua/THF;
MGCS1= Sansa Carolea in acqua/etanolo; MGCS2= Sansa Carolea in acqua/acetone;
MGCS3= Sansa Carolea in acqua/acetone; MGCS4= Sansa Carolea in acqua/THF
GAE = Acido Gallico Equivalente; CT = Catechina

Ciò è attribuibile alla diversa affinità delle varie classi di composti nei confronti dei solventi, come pure alle quantità iniziali differenti che dipendono in massima parte dalle caratteristiche genetiche delle due cultivar considerate (Arias et al., 2022: 102974). Sebbene gli estratti in miscele meno polari mostrino generalmente quantitativi superiori di acidi fenolici e flavonoidi, bisogna sempre considerare che il principale parametro di scelta da considerare rimane l'attività antiossidante, poiché è noto che ciò che determina le caratteristiche bioattive di un estratto, non è tanto la quantità assoluta dei vari composti, ma molto di più la loro natura ed il sinergismo con altre molecole eventualmente presenti (Visioli et al., 2011: 524-546).

3.2 Analisi LC-DAD degli estratti di sansa

La valutazione iniziale di MGCS1 quale possibile candidato per la coniugazione polimerica è stata confermata dall'analisi quali-quantitativa per via cromatografica (figura 1, tabella 4). In generale, tra i composti funzionali nella sansa di oliva si possono recuperare composti idrofili e lipofili (De Bruno et al., 2018: 1532-1552). La sansa di oliva è ricca di tocoferoli e tocotrienoli, oltre che di steroli, squalene e carotenoidi. Inoltre, la sansa di oliva rappresenta una buona fonte di fibre alimentari, minerali e oligosaccaridi, nonché di acidi grassi mono- e polinsaturi. I più abbondanti composti fenolici nella sansa sono idrossitirosolo, tirosolo, acido p-cumarico e, in misura minore, acido vanillico. Altri composti minori identificati includono il verbascoside, acido cinnamico, acido ferulico, acido gallico, acido siringico, acido sinapico, idrossitirosolo-10- β -glucoside e acido omovanillico. I secoiridoidi come demetiloleuropeina, ligstroside, 11-metiloleoside, e l'oleoside sono anch'essi generalmente presenti. La sansa contiene di solito anche flavonoidi quali, luteolina e derivati, esperidina, quercetina, apigenina, cianidina-3-O-rutinoside e cianidina-3-O-glucoside (Difonzo et al., 2021: 5-26). Ovviamente, grande variabilità si riscontra relativamente alla quantità e alla distribuzione dei diversi composti, in relazione alle caratteristiche genetiche delle varie cultivar, ai diversi parametri agronomici e tecnologici applicati, come pure in relazione ai diversi protocolli sperimentali applicati per l'estrazione e l'analisi (De Bruno et al., 2018: 526-533).

L'analisi LC-DAD dei campioni in esame ha permesso l'identificazione di quattro composti presenti all'interno degli estratti di sansa *Carolea* e *Leccino*. In particolare, all'interno dell'estratto MGLS1 seguito da MGCS1, sono stati identificati idrossitirosolo, tirosolo, luteolina e naringenina.

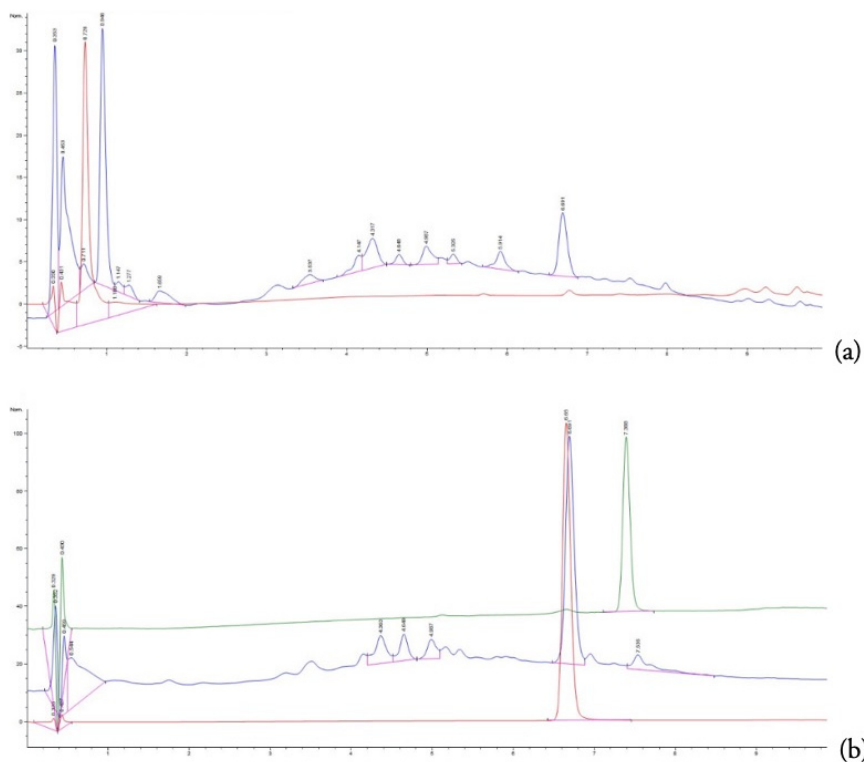


Figura 1 – Cromatogrammi a 280 nm (a) e 360 nm (b) dell'estratto MGLS1: 1 - idrossitirosolo, 2- tirosolo, 3 - luteolina, 4 - naringenina

L'abbondante presenza di acidi fenolici non deve sorprendere poiché questa classe di composti è idrosolubile e quindi si ripartisce facilmente nelle sanse umide piuttosto che in una matrice totalmente lipidica quale l'olio. Le maggiori concentrazioni di tirosolo ed idrossitirosolo negli estratti idroalcolici risultano direttamente correlati alla maggiore polarità del solvente.

Composto	MGLS1	MGLS2	MGLS3	MGLS4	MGCS1	MGCS2	MGCS3	MGCS4
Idrossitirosole	1,02	n.d.	0,44	n.d.	0,41	n.d.	tr.	n.d.
Tirosolo	72,71	2,80	2,88	5,87	43,60	2,09	1,65	3,89
Luteolina	5,84	2,02	1,75	2,38	0,68	1,55	0,87	1,73
Naringenina	5,84	1,98	1,90	1,58	0,89	1,91	1,61	1,78

Tabella 4 – Concentrazioni in mg/g dei composti polifenolici identificati negli estratti di sansè

MGLS1= Sansa Leccino in acqua/etanolo; MGLS2= Sansa Leccino in acqua/acetone; MGLS3= Sansa Leccino in acqua/acetone; MGLS4= Sansa Leccino in acqua/THF; MGCS1= Sansa Carolea in acqua/etanolo; MGCS2= Sansa Carolea in acqua/acetone; MGCS3= Sansa Carolea in acqua/acetone; MGCS4= Sansa Carolea in acqua/THF

Anche in questo caso, sebbene MGLS1 mostri un quantitativo assoluto maggiore dei composti in esame, considerando globalmente tutti i risultati relativi alle caratteristiche antiossidanti di tutti gli estratti valutati, la scelta di limitare le fasi successive dello studio al solo estratto MGCS1 è sembrata comunque la scelta migliore, per coniugare la resa con le performance dell'estratto.

3.3 Sintesi e caratterizzazione del coniugato polimerico amido/MGCS1

I coniugati polimerici sono sistemi macromolecolari caratterizzati da una maggiore stabilità chimica ed una minore velocità di degradazione rispetto a molecole di peso molecolare nettamente inferiore (Parisi et al., 2013: 29-45). Nel presente lavoro è stata proposta una procedura sintetica, che utilizza condizioni non drastiche ed ecocompatibili, attraverso l'ancoraggio (*grafting*) di molecole antiossidanti sulla catena di una matrice polimerica sfruttando specifici iniziatori radicalici (perossido di idrogeno/acido ascorbico). A differenza di sistemi tradizionali, che richiedono temperature più alte, la coppia redox impiegata a tale scopo, mostra diversi vantaggi, uno dei quali è la possibilità di condurre reazioni di polimerizzazione a temperature più basse, riducendo anche i rischi di degradazione dei composti (soprattutto fenolici) ed evitando la formazione di intermedi tossici (Spizzirri et al., 2010: 333-340).

Ai fini della determinazione delle caratteristiche antiossidanti del derivato polimerico sono stati eseguiti gli stessi saggi, nelle medesime con-

dizioni, impiegati per l'estratto MGCS1. I dati riportati in tabella 5 permettono di apprezzare il quantitativo di gruppi fenolici, acidi fenolici e flavonoidi disponibili e l'attività antiossidante dei polimeri e dell'amido commerciale. I test effettuati dimostrano innanzitutto l'avvenuto ancoraggio dei gruppi fenolici dell'estratto sulle catene polimeriche dell'amido. Il coniugato antiossidante, infatti, restituisce valori significativi per tutti i saggi considerati; al contrario, nessuna attività si riscontra per polimero di controllo, e amido commerciale. I dati ottenuti dimostrano chiaramente come l'attività antiossidante del coniugato macromolecolare è attribuibile esclusivamente all'ancoraggio delle molecole fenoliche dell'estratto MGCS1 sulle catene polimeriche.

Campione	Gruppi fenolici disponibili (mg GAE/g di sostanza)	Acidi fenolici disponibili (mg GAE/g di sostanza)	Flavonoidi disponibili (mg CT/g di sostanza)	IC ₅₀ (mg mL ⁻¹)	
				Rad. DPPH	Rad. ABTS
Polimero coniugato	49,94	19,46	14,56	0,21	0,18
Polimero bianco	–	–	–	–	–
Amido commerciale	–	–	–	–	–

Tabella 5 – Contenuto totale di polifenoli, acidi fenolici, flavonoidi e attività antiossidante dei polimeri

GAE = Acido Gallico Equivalente; CT = Catechina; DPPH = 2,2'-difetil-1-picrilidrazile; ABTS = 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonico)

3.4 Polvere lievitante funzionalizzata e sua caratterizzazione

Il lievito in polvere presenta le caratteristiche di essere insapore ed inodore, e viene utilizzato nell'impasto dei prodotti da forno per rendere i prodotti più gonfi e soffici. Tali agenti lievitanti consistono essenzialmente in miscele di acidi (sali acidi dell'acido tartarico o fosforico) e basi (bicarbonato di sodio) atti a produrre CO₂ per via chimica (aggiunta di acqua e/o in risposta al calore), piuttosto che attraverso fermentazione ad opera di lieviti. Agli ingredienti attivi si aggiunge solitamente l'amido di mais come stabilizzante e per il controllo dell'umidità. Sebbene l'effetto principale di queste formulazioni sia quello di far lievitare il prodotto, è possibile che numerosi altri effetti si manifestino (reazioni con amido e proteine, ritenzione/eliminazione di acqua, alterazioni delle caratteristiche reologiche

ed organolettiche, alterazioni del pH, etc...), alcuni dei quali assolutamente da evitare (Arepally et al., 2020: 09726). Ne segue che la corretta formulazione ed applicazione di questi prodotti risulta cruciale ai fini dell'ottenimento di un prodotto commercialmente spendibile sul mercato (Carullo et al., 2020: 1569-1589).

Nell'ambito di questa ricerca, dopo un processo di ottimizzazione delle quantità e proporzioni dei diversi ingredienti, si è provveduto ad ottenere una polvere lievitante contenente l'amido funzionalizzato con l'estratto MGCS1. Le performance antiossidanti sono state valutate attraverso i medesimi test effettuati sia per le macromolecole, sia per gli estratti. In tabella 6 vengono riportati i dati relativi al contenuto di polifenoli, acidi fenolici, flavonoidi e attività antiossidante (espressa in termini di IC₅₀) sia della polvere lievitante funzionalizzata, sia di quella commerciale e sia di quella preparata impiegando amido non funzionalizzato.

Campione	Gruppi fenolici disponibili (mg GAE/g di sostanza)	Acidi fenolici disponibili (mg GAE/g di sostanza)	Flavonoidi disponibili (mg CT/g di sostanza)	IC ₅₀ (mg mL ⁻¹)	
				Rad. DPPH	Rad. ABTS
Polvere lievitante funzionalizzata	17,98	8,83	8,70	0,16	0,05
Polvere lievitante commerciale	–	–	–	–	–
Polvere lievitante controllo	–	–	–	–	–

Tabella 6 – Contenuto totale di polifenoli, acidi fenolici, flavonoidi e attività antiossidante della polvere lievitante funzionalizzata

GAE = Acido Gallico Equivalente; CT = Catechina; DPPH = 2,2'-difetil-1-picrilidrazile; ABTS = 2,2'-azino - bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonico). (-) = Non presente o sotto i limiti di rilevazione

Anche in questo caso, come già avvenuto per il coniugato polimerico, la polvere lievitante non funzionalizzata, come pure quella commerciale, non hanno mostrato alcuna attività antiossidante. Al contrario, la polvere arricchita presenta valori significati per tutti i test effettuati, a di-

mostrazione che l'attività antiossidante è da attribuire esclusivamente alla presenza del coniugato polimerico.

3.5 Biscotti arricchiti: estrazione, caratterizzazione e valutazione nel tempo

La possibilità di arricchire biscotti con estratti derivanti da scarti dell'industria alimentare è stata da tempo investigata (Xu et al., 2020: 200-213); generalmente l'approccio è quello di aggiungere l'estratto anidro direttamente come ingrediente (Cappelli et al., 2021: 275-284), mentre lo studio in esame riporta per la prima volta l'applicazione di una polvere lievitante funzionale che già di per sé rappresenta un prodotto versatile e dalle molteplici applicazioni. I campioni di biscotti ottenuti sono mostrati in figura 2.



Figura 2 – Biscotto funzionalizzato (destra) e commerciale (sinistra)

Dal confronto, si può notare che la polvere lievitante realizzata mediante l'impiego del polimero funzionalizzato, ha prodotto una lievitazione comparabile a quella del biscotto realizzato utilizzando la polvere lievitante commerciale, considerando le dimensioni dei pori visualizzabili nella sezione del biscotto, che sono paragonabili per entrambi i campioni. La quantificazione dei composti fenolici e la valutazione dell'attività antiossidante relativa sono stati fondamentali per comprendere se il prodotto in esame (biscotto funzionalizzato) possedesse ancora caratteristiche antiossidanti dopo le fasi drastiche di miscelazione e cottura e se fosse anche in grado di mantenerle nel tempo. In tabella 7 vengono riportati i dati relativi alla quantità di polifenoli, acidi fenolici, flavonoidi e l'attività antiossidante dei biscotti nei confronti dei radicali ABTS e DPPH. I saggi sugli estratti sono

stati condotti il giorno stesso della preparazione ($t = 0$) e dopo due ($t = 2$), quattro ($t = 4$) e sei giorni ($t = 6$).

Tempo (giorni)	Prodotto	Gruppi fenolici disponibili (mg GAE/g di biscotto)	Acidi fenolici disponibili (mg GAE/g di biscotto)	Flavonoidi disponibili (mg CT/g di biscotto)	IC ₅₀ (mg mL ⁻¹)	
					Rad. DPPH	Rad. ABTS
0	Biscotto funzionalizzato	2,16	0,37	0,36	7,56	1,80
	Biscotto commerciale	0,55	–	–	–	–
	Biscotto bianco	0,77	–	–	–	–
2	Biscotto funzionalizzato	1,99	0,35	0,34	7,74	1,95
	Biscotto commerciale	0,53	–	–	–	–
	Biscotto bianco	0,74	–	–	–	–
4	Biscotto funzionalizzato	1,97	0,33	0,31	8,08	2,03
	Biscotto commerciale	0,52	–	–	–	–
	Biscotto bianco	0,72	–	–	–	–
6	Biscotto funzionalizzato	1,96	0,31	0,29	8,20	2,09
	Biscotto commerciale	0,49	–	–	–	–
	Biscotto bianco	0,69	–	–	–	–

Tabella 7 – Dati relativi al contenuto di polifenoli, acidi fenolici, flavonoidi e attività antiossidante dei biscotti nel tempo

GAE = Acido Gallico Equivalente; CT = Catechina; DPPH = 2,2'-difetil-1-picrilidrazile; ABTS = 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfonico). (-) = Non presente o sotto i limiti di rilevazione

Dai dati riportati in tabella si evince come il biscotto funzionalizzato abbia un quantitativo di polifenoli nettamente maggiore rispetto al biscotto commerciale ed al biscotto bianco, la cui blanda attività è sicuramente ascrivibile alla presenza di composti attivi presente come ingrediente. I valori ottenuti risultano in linea con quelli ottenuti da Pinto et al. (2023) che riportano valori di 163,53 mg GAE/100 g di biscotto, per campioni arricchiti con estratti di gusci di castagna, mentre l'arricchimento di biscotti arricchiti con scarti di caffè esausto ha prodotto valori (174,4 mg GAE/100 g) (Castaldo; et al., 2021: 1837-1850). Al contrario, altri autori riportano valori decisamente superiori per biscotti funzionalizzati con estratti di funghi, fico d'india e amaranto (678-1.366 µg GAE/g di biscotto) (Uriarte-Frías et al., 2021: 911-931). Al contrario, valori decisamente più bassi sono stati ottenuti in biscotti arricchiti con farina d'orzo decorticato (160,53-621,42 µg GAE/g peso secco da 0 al 100% di farina d'orzo) e per biscotti contenenti pesca disidratata (9,31-43,38 mg GAE/100 g di biscotto) (Nakov et al., 2022: 2428-2439; Filipovic et al., 2022: 1258-1277). Anche i valori dei flavonoidi risultano coerenti con quelli riportati per altri campioni di biscotti funzionali arricchiti con estratti di gusci di castagna (51,49 mg CE/100 g biscotto) Pinto et al. (2023) o con miscele di farine vegetali alternative (9,97 – 64,72 µg equivalenti di epicatechina /g di peso secco) (Uriarte-Frías et al., 2021: 911-931). Anche l'analisi dei valori di IC₅₀, sia in ambiente acquoso che organico, evidenzia la migliore efficacia *scavenger* dei biscotti arricchiti, che si mantiene praticamente inalterata nell'arco di tempo investigato (figura 3). Ciò implica, oltre una migliorata qualità nutrizionale del prodotto funzionale, anche una sua prolungata *shelf-life* nell'arco di tempo comunemente utilizzato per il consumo (una settimana), in assenza di altri conservanti di sintesi.

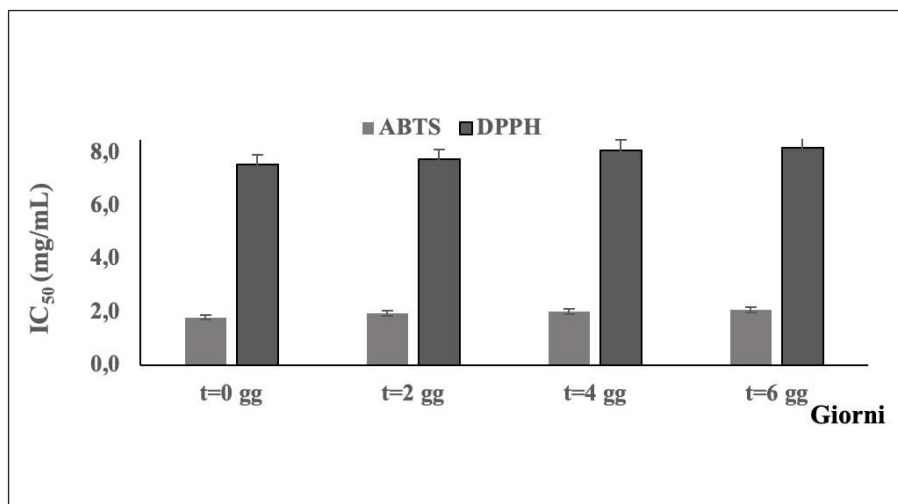


Figura 3 – Andamento nel tempo dell'attività scavenger del biscotto funzionalizzato.

4 Conclusioni

La ricerca ha proposto un'applicazione innovativa di estratti di sansa da coniugare all'amido presente in una polvere lievitante per la preparazione di prodotti da forno. La scelta di funzionalizzare l'agente lievitante al posto della farina non appare scontata, visto che, almeno allo stato attuale delle conoscenze, non esiste sul mercato un prodotto con analoghe caratteristiche. In questo senso, il presente lavoro dimostra di poter ottenere contemporaneamente due diversi prodotti potenzialmente commercializzabili, attraverso un'unica strategia sintetica. D'altro canto, l'estrazione e la veicolazione di molecole antiossidanti presenti nella sansa di oliva per fortificare alimenti, rappresenta una possibilità importante di valorizzare scarti agro-alimentari fortemente inquinanti, limitando al contempo lo sfruttamento delle risorse e l'impatto ambientale, in un approccio produttivo circolare. L'estrazione attraverso ultrasuoni, come pure l'uso di solventi eco-compatibili, dimostrano l'ulteriore possibilità di sfruttare tecnologie per quanto possibile rispettose dell'ambiente.

Il successivo impiego del lievito arricchito durante la preparazione di biscotti *gluten-free* ha condotto a prodotti con migliorate caratteristiche antiossidanti che si mantengono pressoché inalterate fino a sei giorni dalla preparazione.

Lo studio proposto rappresenta certamente un punto di partenza per successivi studi volti a valutare da un lato le caratteristiche reologiche e sensoriali del prodotto innovativo, dall'altro l'eventuale accettazione da parte del consumatore e l'effettiva attività biologica.

References

- ARDESTANI, A., YAZDANPARAST, R. (2007). Antioxidant and free radical scavenging potential of *Achillea antolina* extracts. *Food Chemistry*, 104, 21-29.
- AREPALLY, D., REDDY, R.S., GOSWAMI, T.K., DATTA, A.K. (2020). Biscuit baking: A review, *LWT- Food Science and Technology*, 131, 09726.
- ARIAS, A., FEIJOO, G., MOREIRA, M.T. (2022). Exploring the potential of antioxidants from fruits and vegetables and strategies for their recovery, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102974.
- BELWAL, T., EZZAT, S.M., RASTRELLI, L. BHATT, I.D., DAGLIA, M., BALDI, A., DEVKOTA, H.P., ORHAN, I.E., PATRA, J.K., DAS, G., ANAND-HARAMAKRISHNAN, C., GOMEZ-GOMEZ, L., NABAVI, S.F., NABAVI, S.M., ATANASOV, A.G. (2018). A critical analysis of extraction techniques used for botanicals: trends, priorities, industrial uses and optimization strategies. *Trends in Analytical Chemistry*, 100, 82-102.
- BIRCH, C.S., BONWICK, G.A. (2019). Ensuring the future of functional foods. *International Journal of Food Science & Technology*, 54, 1467-1485.
- CAPPELLI, A., LUPORI, L., CINI, E. (2021). Baking technology: A systematic review of machines and plants and their effect on final products, including improvement strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 275-284.
- CAROCHO, M., MORALES, P., FERREIRA, I.C.F.R. (2018). Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation, and role as preservatives. *Trends in Food Science & Technology*, 71, 107-120.
- CARULLO, G., SCARPELLI, F., BELSITO, E.L., CAPUTO, P., OLIVIERO ROSSI, C., MINCIONE, A., LEGGIO, A., CRISPINI, A., RESTUCCIA, D., SPIZZIRRI, U.G., AIELLO F. (2020). Formulation of New Baking (+)-Catechin Based Leavening Agents: Effects on Rheology, Sensory and Antioxidant Features during Muffin Preparation. *Foods*, 9, 1569-1589.
- CASTALDO, L., LOMBARDI, S., GASPARI, A., RUBINO, M., IZZO, L., NARVÁEZ, A., RITIENI, A., GROSSO, M. (2021). *In vitro* bioaccessibility and antioxidant activity of polyphenolic compounds from spent coffee grounds-enriched cookies. *Foods*, 10, 1837-1849.
- DE BRUNO, A., ROMEO, R., FEDELE, F.L., SICARI, A., PISCOPO, A., POIANA, M. (2018). Antioxidant activity shown by olive pomace extract. *Journal of Environmental Science and Health – Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 53, 526-533.

- DERMECHE, S., NADOUR, M., LARROCHE, C., MOULTI-MATI, F., MICHAUD, P. (2013). Olive mill wastes: biochemical characterizations and valorization strategies. *Process Biochemistry*, 48, 1532-1552.
- DIFONZO, G., TROILO, M., SQUEO, G., PASQUALONE, A., CAPONIO, F. (2021). Functional compounds from olive pomace to obtain high-added value foods - a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101, 5-26.
- FILIPOVIC, V., LONCAR, B., FILIPOVIC, J., NICETIN, M., KNEŽEVIC, V., ŠEREGELJ, V., KOŠUTIC, M., SOLAROV, M.B. (2022). Addition of combinedly dehydrated peach to the cookies — Technological quality testing and optimization. *Foods*, 11, 1258-1277.
- GAWLIK-DZIKI, U., DZIKI, D., BARANIAK, B., LIN, R. (2009). The effect of simulated digestion in vitro on bioactivity of wheat bread with Tartary buckwheat flavones addition. *LWT- Food Science and Technology*, 42, 137-143.
- GOLDSMITH, C.D., VUONG, Q.V., STATHOPOULOS, C.E., ROACH, P.D. SCARLETT, C.J. (2018). Ultrasound increases the aqueous extraction of phenolic compounds with high antioxidant activity from olive pomace. *LWT Food Science and Technologies*, 89, 284-290.
- GÓRSKA-WARSEWICZ, H., REJMAN, K., GANCZEWSKI, G., KWIATKOWSKI, B. Chapter 18 - Economic importance of nutritional and healthy cereals and/or cereal products, Editor(s): Marianna Rakszegi, Maria Papageorgiou, João Miguel Rocha, *Developing Sustainable and Health Promoting Cereals and Pseudocereals*, Academic Press, 2023, Pages 433-450.
- GRAND VIEW RESEARCH (2023). Cookies Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product (Bar, Molded, Rolled, Drop), By Distribution Channel (Offline, Online), By Region (North America, APAC, MEA, Europe, CSA), And Segment Forecasts, 2019-2025. Report ID: GVR-2-68038-836-7 available at Cookies Market Size, Share, Analysis & Forecast Report, 2025 (grandviewresearch.com).
- IVANOVIĆ, M., ALAÑÓN, M.E., ARRÁEZ-ROMÁN, D., SEGURA-CARRETERO, A. (2018). Enhanced and green extraction of bioactive compounds from *Lippia citriodora* by tailor-made natural deep eutectic solvents, *Food Research International*, 111, 67-76.
- KLEN, T.J., VODOPIVEC, B.M. (2012). The fate of olive fruit phenols during commercial olive oil processing: traditional press versus continuous two- and three-phase centrifuge. *LWT - Food Science and Technology*, 49, 267-274.
- MUNTEANU, I.G., APETREI, C. (2021). Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 3380.

- NAKOV, G., JUKIĆ, M., ŠIMIĆ, G., ŠUMANOVAC, F., KOMLENIĆ, D.K., LUKINAC, J. (2022). Effect of the addition of hullless barley flour on the quality of short-dough cookies. *Foods*, 11, 2428-2439.
- NUNES, M.A., PIMENTEL, F.B., COSTA, A.S.G., ALVES, R.C., OLIVEIRA, M.B.P.P. (2016). Olive byproducts for functional and food applications: challenging opportunities to face environmental constraints. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 35, 139-148.
- PARISI, O.I., PUOCI F., RESTUCCIA, D., FARINA, G., IEMMA, F., PICCI N. (2013). "Polyphenols and their formulations: different strategies to overcome the drawbacks associated with their poor stability and bioavailability" in: *Polyphenols in Human Health and Disease*, Editors: R.R Watson V.R. Preedy and S. Zibadi., Elsevier Inc., Vol. 1, 29-45.
- PINTO, D., MOREIRA, M.M., VIEIRA, E.F., ŠVARC-GAJIĆ, J., VALLVERDÚ-QUERALT, A., BREZO-BORJAN, T., DELERUE-MATOS, C., RODRIGUES, F. (2023). Development and Characterization of Functional Cookies Enriched with Chestnut Shells Extract as Source of Bioactive Phenolic Compounds. *Foods*, 12, 640.
- ROIG, A., CAYUELA, M.L., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A. (2006). An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Management*, 26, 960-969.
- SHALABY, E.A., SHANAB, S.M.M. (2013). Comparison of DPPH and ABTS assays for determining antioxidant potential of water and methanol extracts of *Spirulina platensis*. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 42, 556-564.
- SPIZZIRRI U.G., PARISI O.I., IEMMA F., CIRILLO G., PUOCI F., CURCIO M., PICCI N. (2010). Antioxidant - polysaccharide conjugates for food application by ecofriendly grafting procedure. *Carbohydrate Polymers*, 79, 333-340.
- SPIZZIRRI, U.G., CARULLO, G., AIELLO, F., PAOLINO, D., RESTUCCIA, D. (2021). Valorization of olive oil pomace extracts for a functional pear beverage formulation. *International Journal of Food Science & Technology*, 56, 5497-5505.
- SPIZZIRRI, U.G., IEMMA F., PUOCI F., CIRILLO, G., CURCIO, M., PARISI, O.I., PICCI, N. (2009). Synthesis of antioxidant polymers by grafting of gallic acid and catechin on gelatin. *Biomacromolecules*, 10, 1923-1930.
- SUKOR, N.F., SELVAM, V.P., JUSOH, R., KAMARUDIN, N.S., RAHIM, S.A. (2021). Intensified DES mediated ultrasound extraction of tannic acid from onion peel. *Journal of Food Engineering*, 296, Article 110437.

- URIARTE-FRÍAS, G., HERNÁNDEZ-ORTEGA, M.M., GUTIÉRREZ-SALMEÁN, G., SANTIAGO-ORTIZ, M.M., MORRIS-QUEVEDO, H.J., MENESES-MAYO, M. (2021). Pre-hispanic foods oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*), nopal (*Opuntia ficus-indica*) and amaranth (*Amaranthus* sp.) as new alternative ingredients for developing functional cookies. *Journal of Fungi*, 7, 911-931.
- VISIOLI, F., DE LA LASTRA, C.A., ANDRES-LACUEVA, C., AVIRAM, M., CALHAU, C., CASSANO, A., D'ARCHIVIO, M., FARIA, A., FAVÉ, G., FOGLIANO, V., LLORACH, R., VITAGLIONE, P., ZORATTI, M., EDEAS M. (2011). Polyphenols and human health: A prospectus. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 51, 524-546.
- XU, J., ZHANG, Y., WANG, W., LI, Y. (2020). Advanced properties of gluten-free cookies, cakes, and crackers: A review. *Trends in Food Science and Technologies*, 103, 200-213.
- Zhao, J., Yang, J., Xie, Y. (2019). Improvement strategies for the oral bioavailability of poorly water-soluble flavonoids: An overview. *International Journal of Pharmaceutics*, 570, 118642.

On the recovery of wastewater from anaerobic digestion and composting plants of organic waste by material flow analysis

Giovanni Lagioia
University of Bari Aldo Moro
Teodoro Gallucci
University of Bari Aldo Moro
Christian Bux
University of Bari Aldo Moro
Maria Pia Spinelli
University of Bari Aldo Moro
Vera Amicarelli
University of Bari Aldo Moro

ABSTRACT

Water represents a fundamental natural resource, essential to boost life, food security and economic development, and its demand has increased due to incessant population growth, industrialization and urbanization. In addition, wastewater must be considered as a valuable output, containing significant compounds to be used in water-based industrial processes. The present research, by applying the material flow analysis, aims at evaluating the amount of recoverable wastewater from anaerobic digestion and composting plants of organic waste. It develops the material flow analysis of a real, accessible and available anaerobic digestion and composting plant in Southern Italy, distinguishing between biogas, digestate and compost production. Specifically, the plant receives the decaying water from the mechanical dehydration process of the liquid digestate, and through the membrane bioreactor, the reverse osmosis, the three-effects-evaporation and the ultrafiltration treatments, it produces water for internal uses and water with suitable safety parameters for dispersion into the soil. In Apulia, it results that each year about 436 kt of organic fraction are generated from municipalities and households, of which Bari ranks at first place in terms of organic fraction (130 kt), followed by Lecce (93 kt) and Taranto (60 kt). Considering the efficiency of the anaerobic digestion and composting plant under-research, it would be possible to obtain 292 kt of water according to the D.Lgs 152/2006, for both industrial uses and for discharge into the soil. Future challenges should concern the recovery of water by using new advanced oxidation processes (AOP) technologies for its use in industrial processes.

KEYWORDS: anaerobic digestion; circular economy; digestate; industrial symbiosis; material flow analysis; wastewater

1 Introduction

Water represents a fundamental natural resource, essential to boost life, food security and economic development, and its demand has increased due to incessant population growth, industrialization and urbanization (Ingrao et al., 2023). Latest statistics (Ritchie and Roser, 2017) have estimated that each year more than 3.99 trillion m³ freshwater are consumed at the global scale, and Italy has withdrawn about 34 billion m³ in 2019. Specifically, it results that 50% of freshwater is consumed in agriculture, for irrigation, livestock and aquaculture purposes, of which approx. 20% for irrigation. In addition, about 10 billion m³ are consumed at households and public services, and the remaining quota (7 billion m³) is supposed to be consumed in industry (Ritchie and Roser, 2017). Although 71% of the Earth planet is covered by water, seawater is rarely available and only 3% of the freshwater is available for human consumption. However, it results that about 0.06% can be easily accessed, since the remaining quota is embedded within polar ice cap or glaciers, groundwater and swam (Musie and Gonfa, 2023). Hence, freshwater should be treated as a limited resource and wastewater must be considered as a valuable output, since it contains significant compounds to be used in water-based industrial processed.

In terms of organic waste, each year more than 1.3 billion t of organic waste are generated, which represent about 13.8% of the global food production (Omolayo et al., 2021) and which are expected to increase up to 2.2. billion t by 2023 (Mehariya et al., 2018). In Europe, more than 931 Mt of organic waste are generated and Italy accounts for 8 Mt per year (European Comission, 2023). The European Union has enacted sustainable strategies to enhance organic waste valorization, as to reduce the withdrawal of natural resources and the energy consumption based on non-renewable sources, as well as minimize waste generation (OJEU, 2008). In the light of the waste management hierarchy, several pathways have been proposed, from reuse to recycling, recovery and landfilling, and organic waste have a great potential for recovery both bioenergy and water (Mirmohamadsadeghi et al., 2019; Molino et al., 2013).

Literature has highlighted that organic waste are currently treated in composting plants to produce high quality compost or addressed to anaerobic digestion plants to generate biogas (De Boni et al., 2022; Wang et al., 2022), which represents the most widespread fuel obtained from

biomass (Tricase and Lombardi, 2009; Rana et al., 2020). Under the technical perspective, biogas can be generated in conventional boilers and transformed into heat or utilized as a fuel for the production of electricity and heat (i.e., cogeneration). Moreover, during the biogas production, which contains on average 65% of methane (CH_4) and 35% of carbon dioxide (CO_2), it is possible to generate digestate, water and compost (Mattioli et al., 2017; Nguyen et al., 2021). Considering that the presence of CO_2 reduces the economic value of the biogas, an upgrading process, defined “biogas upgrading”, is necessary to obtain biomethane (Zhu et al., 2019).

The present research, by applying the material flow analysis, aims at evaluating the amount of recoverable wastewater from anaerobic digestion and composting plants of organic waste. It develops the material flow analysis of a real, accessible and available anaerobic digestion and composting plant in Southern Italy, distinguishing between biogas, digestate and compost production. Specifically, the plant receives the decaying water from the mechanical dehydration process of the liquid digestate, and through the membrane bioreactor, the reverse osmosis, the three-effects-evaporation and the ultrafiltration treatments, it produces water for internal uses and water with suitable safety parameters for dispersion into the soil.

2 Methodology

The purpose of the research is to evaluate the amount of recoverable wastewater from anaerobic digestion and composting of organic waste. Specifically, the research carries out the material flow analysis of an anaerobic digestion and composting plant in Southern Italy (Section 1.2.2.) and evaluates the amount of recoverable wastewater on the basis of the amount of organic waste separately collected in Apulia (Southern Italy), with regards to the six different chief towns in Apulia, namely Bari, BAT, Brindisi, Foggia, Lecce, Taranto (Section 1.2.3.).

2.1. Material flow analysis

The material flows analysis is defined as a “systematic assessment of the state and change of materials flow and stock in space and time” (Brunner and Rechberger, 2017) and has been successfully applied in literature, demonstrating its utility at either micro, meso and macro level (Schuch et al., 2021; Bux and Amicarelli, 2022; Lombardi et al., 2021). The current material flow analysis evaluates the production of biogas, biomethane, digestate, compost and recoverable wastewater according to an anaerobic digester and composting plant with a theoretical capacity of

113 800 t/year, of which 103 000 t/year of organic waste and 10 800 t of green fraction used as a structuring agent in the composting process. Calculations are performed through STAN 2.7.101 software (<https://www.stan2web.net>), developed by the Institute for Water Quality, Resources and Waste Management at the Vienna University of Technology and the system boundaries start from reception and pre-treatment of the organic fraction and end to biomethane and compost production, including wastewater treatment. Data have been collected from official documents and reports, combined with personal observations of the plants and personal communications with the management.

2.2. Anaerobic digestion and composting plant

The plant under research is powered by raw materials listed in the Decree 10 October 2014 and in the subsequent applicative procedures included in the Ministerial Decree 2 March 2018, namely “raw materials and fuels that give rise to biofuels that can be accounted for as advanced”. Specifically, according to the Legislative Decree 31 May 2021 n. 77 (Annex D Part IV), ratified by the Law 29 July 2021 n. 108, the plant treats the subsequent waste codes: 02 01, 02 03, 02 04, 02 05, 02 06, 02 07, 03 01, 03 03, 19 06, 20 01, 20 02, 20 03 (GU, 2021). According to its definition, the anaerobic digestion and composting plant treats “biodegradable waste from gardens and parks, food and kitchen waste produced by households, restaurants, catering services and retail outlets and similar waste produced by the food industry collected separately” (Gestore Servizi Energetici, 2021). Specifically, the anaerobic digestion and composting plant consists of the subsequent plant sections: (i) reception and pre-treatment of inbound waste; (ii) anaerobic digestion process; (iii) dehydration of the digestate; (iv) aerobic stabilization and composting; (v) liquid digestate process and water treatment; (vi) biogas treatment and valorization; (vii) biomethane production. Figure 1 illustrates the functioning of the anaerobic digestion and composting plant.

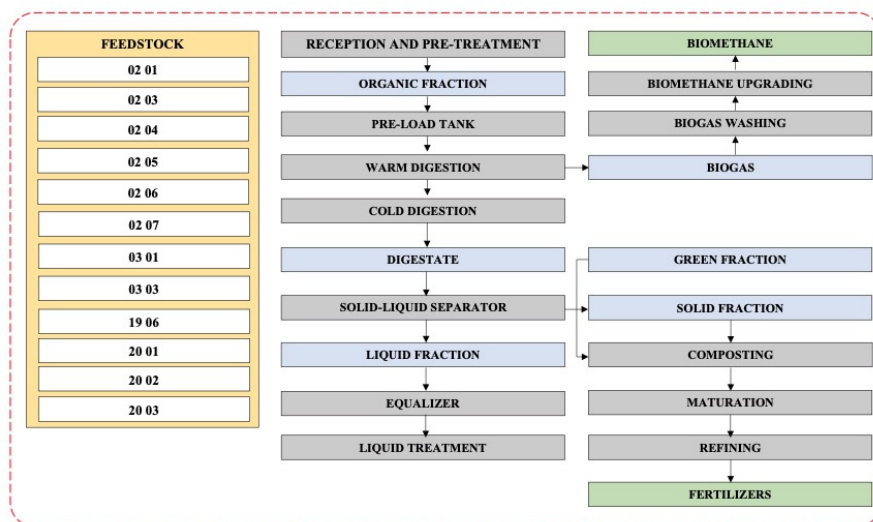


Figure 1 – Flow-diagram for the anaerobic digestion and composting plant

Source: Personal elaboration by the authors

First, solid waste are subject to an evaluation process, which distinguishes between the biodegradable fraction (composed of organic waste, wood and paper) and the non-biodegradable fraction (composed of plastics, glass, metals). If the non-biodegradable fraction is higher than 10%, the supplied solid waste should be rejected. Soon after evaluation and storage, the organic fraction is subject to a first mechanical treatment, which transfers waste into a specific machine, which shreds waste into small pieces and homogenized them in terms of size. Subsequently, such a fraction characterized by an average water content of 70% is pressed to reach a water content from 50 to 60%. The anaerobic digestion process encompasses three different tanks, namely: (i) the hydrolysis tank, which starts the metabolization; (ii) the digester tank, where a minor degradation takes place to generated biogas with a composition of approx. 60% of CH₄ and 40% of CO₂, as well as an additional purification from sulphur; and (iii) the digesterate tank, in which liquid and solid digesterate are separated. The solid digesterate is sent to a composting process, whereas the liquid one is addressed to the wastewater treatment plant.

2.3. Study area

The study area of the research is Apulia, which accounts for ten treating plants for the organic fraction, of which one is an anaerobic

digestion plant. According to ISPRA (2022) and the Regione Puglia (2021), the amount of organic waste generated in Apulia in 2021 has been 436 847 t, of which 97% are composed of biodegradable waste from kitchens and canteens, whereas the remaining quota includes waste from domestic composting (1.9%) and from markets (0.6%). Table 1 illustrates the amount of organic waste generated in the six different chief towns in Apulia (i.e., Bari, BAT, Brindisi, Foggia, Lecce, Taranto).

Town	UW	SW	SW/UW	OW	OW/SW
Bari	565 321	330 408	58.4%	130 527	39.5
BAT	178 346	116 768	65.5%	52 383	44.9
Brindisi	191 948	119 894	62.5%	54 793	45.7
Foggia	270 901	117 247	43.3%	45 035	38.4
Lecce	376122	234 132	62.2%	93 446	39.9
Taranto	282 189	147 861	52.4%	60 661	41.0
Apulia	1 864 834	1 066 312	57.2%	436 847	41.0

Table 1 – Urban, separate and organic waste in Apulia in 2021(t)

Notes: UW = Urban waste; SW = Separate collected waste; OW = Organic waste.

Source: Personal elaboration on ISPRA (2022) and Regione Puglia (2021)

3 Results and Discussion

3.1. Material flow analysis results

Figure 2 illustrates the material flow analysis for the biogas production. The biogas production system is composed of five main processes and several input and output streams. First, it results that 103 000 t of organic waste and 195 000 t of water (89% used as dilution water) are required to begin the process. Organic waste and other inputs are first addressed to bag openers, magnetic separators and ECS (Eddy Current Systems for nonferrous metals) separators. The organic fraction collected obtained from the sand trap and addressed to the anaerobic digester is transformed into three main outputs, namely: (i) biogas, for an amount of approx. 16 978 t; (ii) digestate, for an amount of 268 466 t; and (iii) filtrated non-reusable fraction and sand, for a residual amount (12 856 t).

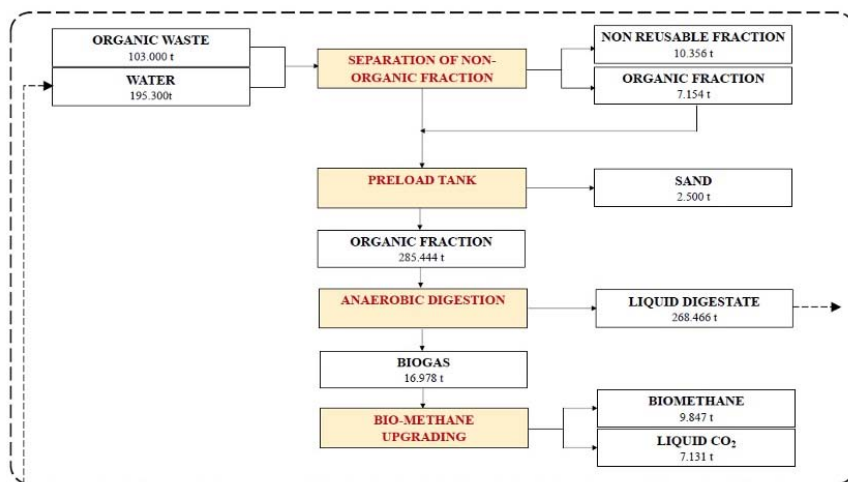


Figure 2 – Flow-diagram for the biogas and biomethane production

Source: Personal elaboration by the authors

It results that approx. 16 978 t of biogas could be produced starting from 103 000 t of organic waste (rate of efficiency at 16%). Once the biogas is produced, it is sent to purification through desulfurizer and activated carbon and then addressed to upgrading. The quality of the biogas is supposed to have a 58% methane content and a 99% transformation efficiency. Hence, the production of biomethane after upgrading could theoretically be up to 9847 t .

Figure 3 illustrates the material flow analysis for the digestate production. The substrates that have reached the end of the anaerobic digestion process (268 466 t) are sent to a digestate solid-liquid separation system, where the digestate (94 866 t) is separated from the dilution liquid (173 600 t). Subsequently, the digestate is filtered from plastics (95 t), as to obtain filtered digestate for an amount of 94 771 t.

The filtered digestate is sent to a spin-dryer to separate solid digestate (16 065 t) from the filtered liquid (91 028 t), which is addressed to purification through membrane bioreactor (MBR) treatments, as well as ultrafiltration and reverse osmosis. The ultrafiltration permeate (114 628 t) is addressed to reverse osmosis for obtaining 69 048 t water according to the D.Lgs 152/2006 on the “Emission limits for urban and industrial wastewater to be released to the ground” (Annex 5, part III). To improve the recovery water rate, reverse osmosis concentrate is sent to a multi-effect evaporator. The distilled effluent obtain is direct to reverse osmosis unit.

Under the technical perspective, the liquid digestate processing plant receives the decaying water from the mechanical dehydration process of the digestate generated from the anaerobic digestion. As concerns water, in order to reach the pre-established parameters for dispersion in subirrigation, the liquid digestate undergoes through different processes, namely: MBR treatment, ultrafiltration, reverse osmosis and evaporation. Through the MBR treatment, as well as through the ultrafiltration and the reverse osmosis process, the treated water can achieve the pre-established parameters for dispersion in subirrigation.

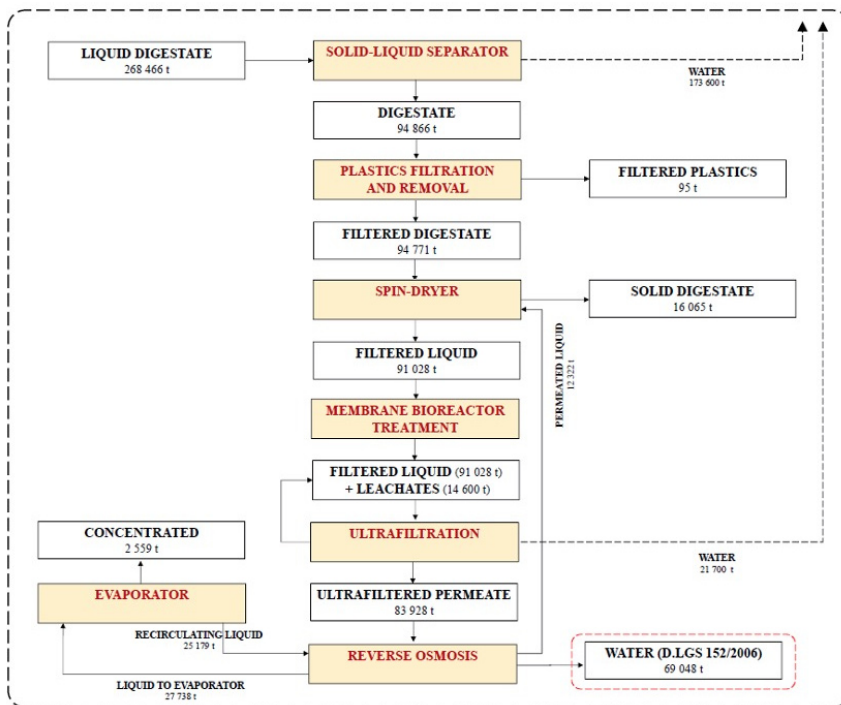


Figure 3 – Flow-diagram for Digestate Production and Wastewater treatment
Source: Personal elaboration by the authors

The outbound effluent from the liquid digestate treatment must comply with the quality limits identified by the Legislative Decree No. 152/2006 (and subsequent amendments and additions) on the emission limits for urban and industrial wastewater that discharge into the ground (GU, 2006). The engine of the biological process is oxygen, used by microorganisms for the development of their assimilation processes, which

is provided by introducing air into the liquid mass with insufflation system. Using a battery of membranes to clarify the biomass, maximum operational safety is guaranteed. One typical characteristic of the MBR technology is to “completely block” the suspended organic substances.

As concerns the compost production, starting from the introduction of green fraction (10 800 t) as a structuring agent and 16 065 t of solid digestate, which represents an output from the spin-dryer process in the digestate production (Figure 3), it is possible to obtain 34 863 t of blend fraction (since about 8000 t of recycled biomass from winnowing is added). Such a fraction is addressed to bio cells, with an efficiency of 80%, which help mature waste for an amount of 27 890 t. During curing, which has an efficiency rate of 90%, it is possible to obtain additional recyclable overstock (6973 t). The intermediate (and matured) compost, which is addressed to winnowing, is lastly transformed into compost (15 847 t), with an entire amount of waste of 12 043 t.

Considering the amount of organic waste generated in Apulia (Section 1.2.3.), which has been estimated at about 436 kt of organic fraction from municipalities and households, of which Bari ranks at first place in terms of organic fraction (130 kt), followed by Lecce (93 kt) and Taranto (60 kt), it would be possible to obtain more than 292 kt of water according to the D.Lgs 152/2006, of which almost 87% useful for industrial uses and 13% for discharge into the soil.

Table 2 illustrates the biogas, biomethane, digestate and compost potential, as well as the rate of water recovery, distinguishing per each chief town.

Town	OW	Biogas	Biogas	Digest.	Compost	Water
Bari	130 527	21 511	21 511	20 349	20 075	87 492
BAT	52 383	8633	8633	8167	8057	35 112
Brindisi	54 793	9030	9030	8542	8427	36 728
Foggia	45 035	7422	7422	7021	6926	30 187
Lecce	93 446	15 400	15 400	14 568	14 372	62 637
Taranto	60 661	9997	9997	9457	9330	40 661
Apulia	436 845	71 992	71 992	68 104	67 187	292 817

Table 2 – Biogas, biomethane, digestate, compost and water (t)

Notes: OW = organic waste; Biometh. = biomethane; Digest. = digestate;
Water = water according to the D.Lgs 152/2006.

Source: Personal elaboration by the authors

It should be remarked that per 1 t of organic waste entering the anaerobic digestion plant, 1.68 t of dilution and 0.21 t of water are required. In the composting plant, per 1 t of digestate entering the plant, additional 0.67 t of green fraction (as a structuring agent) is required. It results that the transformation coefficients (i.e., rates of efficiency) of the organic fraction are: (i) for biogas, 16.48%; (ii) for biomethane, 6.92%; (iii) for digestate, 15.59%; (iv) for compost, 15.38%; (v) for water according to the D.Lgs 152/2006, 67.03%.

3.2. Managerial and theoretical implications

As highlighted by the literature (Kraemer and Gamble, 2014; Rajabi Hamedani et al., 2020; La Pera et al., 2022), integrating anaerobic digestion and composting into a single facility further enhances sustainability by reducing waste production and increasing useful products output. Wastewater treatment produces valuable by-products for agriculture and energy generation and can preserve freshwater resources. Therefore, the combination of these processes allows extracting valuable resources from wastewater and promoting a circular economy approach.

The treatment of organic waste produces biogas and biomethane, digestate for composting, and recovers water through a wastewater treatment system. Specifically, the plant utilizes anaerobic digestion to produce biogas from organic waste, which is then cleaned and upgraded to biomethane as renewable energy source. As byproduct of anaerobic digestion, the digestate is used to produce compost for farming substituting chemical fertilizers. Finally, the cleaned water from treatment process can be mainly reused in plant processes or discharged into the soil.

To address environmental challenges, the management and treatment of wastewater play a crucial role. It improves water quality and can ensure clean water for non-potable uses, such as industrial processes, irrigation, and washing (Obaideen et al., 2022). Therefore, the primary goal of water treatment should be producing clean water for various purposes. This could be accomplished by using AOP technologies, that have been broadly studied and implemented for the treatment of municipal and industrial wastewater due to their ability to transform pollutants into less toxic products. AOP treatment have several benefits for water use in industry, including the removal of recalcitrant organic matters, inorganic pollutants, and traceable organic contaminants, plus the enhancement of wastewater biodegradability (Deng and Zhao, 2015). These advantages make AOPs a viable option for improving the quality of wastewater and ensuring its suitability for various industrial purposes. As pointed out by Deng and Zhao (2015), the recovery of water for non-potable uses can as well increase the supply of potable water indirectly. Direct reuse through

the biological treatment of secondary effluents produced from wastewater treatment plants is also possible and can be a continuous source of recovered water that can meet drinking water standards (Deng and Zhao, 2015).

Main non-potable applications can involve irrigation, toilet flushing, and process water in various industries. Among others, it is worth exploring the production of clean hydrogen from wastewater. In the face of the goal set in the European Green Deal to achieve CO₂ neutrality by 2050, the EU is working to reduce its reliance on fossil fuels and calling on hydrogen to play a key role in our future energy systems. Zawadzki et al. (2023) have illustrated that the recovered water from municipal wastewater can meet the quality and cost-effectiveness requirements to feed the electrolyzers. Assuming a consumption of 15 L of water for 1 kg of H₂, and according to the amount of recovered water for industrial uses in Apulia, it would be possible to produce 19.5 kt of hydrogen per year to serve application in mobility, industry, and energy within a hydrogen valley. Conventional municipal wastewater treatment technologies are not designed for these purposes; however, treatment processes such as ultrafiltration and reverse osmosis provide a viable source of water for electrolysis (Zawadzki et al., 2023).

4 Conclusions

This paper focuses on the material flow analysis of an anaerobic digestion and composting plant in Southern Italy, exploring the production of biogas, biomethane, digestate, compost, and recoverable wastewater. The study area is Apulia, which has ten treating plants for the organic fraction, including one anaerobic digestion plant. The article provides information on the amount of organic waste generated in Apulia and the potential for water recovery. The anaerobic digestion and composting plant object of study utilizes both processes to treat organic waste, which wastewater undergoes various processes, such as membrane bioreactor, reverse osmosis, three-effects-evaporation, and ultrafiltration. The treated water can be reused in internal processes and meet the quality limits for dispersion in subirrigation. Specifically, 292 kt can be obtained considering the amount of organic waste generated in Apulia and the efficiency of the plant under-research. However, to address environmental challenges, future research should focus on the recovery of water by new AOP technologies for its use in industrial processes. Among others, reclaimed water should be considered to produce hydrogen through electrolysis, for which the recovery of water through ultrafiltration and reverse osmosis already meets the quality requirements for electrolyser feedstock.

Acknowledgements

The research has been funded by the Italian Ministry of Ecological Transition (MET) as part of the project “Water as Sustainable Product – WASP”, MET Department Head Decree DISS n. 08 of 01/27/2022 – CUP H93C22000360004.

References

- BRUNNER, P.H., RECHBERGER, H. (2017), Handbook of Material Flow Analysis. For Environmental, Resource and Waste Engineers, 2nd ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton, London, New York, NY.
- BUX, C., AMICARELLI, V. (2022). Separate collection and bio waste valorization in the Italian poultry sector by material flow analysis. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 24, 811-823. <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01366-0>.
- DE BONI, A., MELUCCI, F.M., ACCIANI, C., ROMA, R. (2022). Community composting: A multidisciplinary evaluation of an inclusive, participative, and eco-friendly approach to biowaste management. *Cleaner Environmental Systems* 2022, 6, 100092. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2022.100092>.
- DENG, Y., ZHAO, R. (2015). Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment. *Current Pollution Reports*, 1, 167-176.
- EUROPEAN COMMISSION (2023). Member State Page: Italy, 2023. https://ec.europa.eu/food/safety/food_waste/eu-food-loss-waste-prevention-hub/eu-member-state-page/show/IT (Accessed 18 September 2023).
- GESTORE SERVIZI ENERGETICI. Allegato A – Precisazioni sulle materie prime. Procedure applicative DM 2 marzo 2018, 2021. (accessed 18 September 2023).
- GU (GAZZETTA UFFICIALE). Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, 2006. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ita64213.pdf> (accessed 12 April 2023).
- GU (GAZZETTA UFFICIALE). Legge 29 luglio 2021 n. 108. Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 31 maggio 2021, n. 77, recante governance del Piano nazionale di ripresa e resilienza e prime misure di rafforzamento delle strutture amministrative e di accelerazione e snellimento delle procedure, 2021. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2021/07/30/21G00118/sg> (accessed 18 September 2023).
- INGRAO, C., STRIPPOLI, R., LAGIOIA, G., HUISINGH, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8), 18507, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18507>.
- ISPRA (2022). Rapporto Rifiuti Urbani Edizione 2022. Rapporti 380/2022. Roma, Italy.
- KRAEMER, T., GAMBLE, S. (2014). Integrating anaerobic digestion with composting. *BioCycle*, 55(10), 32.

- LE PERA, A., SELLARO, M., BENCIVENNI, E., D'AMICO, F. (2022). Environmental sustainability of an integrate anaerobic digestion-composting treatment of food waste: Analysis of an Italian plant in the circular bioeconomy strategy. *Waste Management*, 139, 341-351.
- LOMBARDI, M., RANA, R., FELLNER, J. (2021). Material flow analysis and sustainability of the Italian plastic packaging management. *Journal of Cleaner Production* 2021, 287, 125573.
- MATTIOLI, A., GATTI, G.B., MATTUZZI, G.P., CECCHI, F., BOLZONELLA, D. (2017). Co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste and sludge improves the energy balance of wastewater treatment plants: Rovereto case study. *Renewable Energy* 2017, 113, 980-988.
- MEHARIYA, S., PATEL, A.K., OBULISAMY, P.K., PUNNIYAKOTTI, E., WONG, J.W.C. (2018). Co-digestion of food waste and sewage sludge for methane production: current status and perspective. *Bioresource Technology* 2018, 265. [10.1016/j.biortech.2018.04.030](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.030).
- MIRMOHAMADSADDEGHI, S., KARIMI, K., TABATABAEI, M., AGHBASHLO, M. (2019). Biogas production from food wastes: A review on recent developments and future perspectives. *Bioresource Technology Reports* 2019, 7, 100202. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100202>.
- MOLINO, A., NANNA, F., DING, Y., BIKSON, B., BRACCIO, G. (2013). Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste. *Fuel* 2013, 103, 1003-1009. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.07.070>.
- MUSIE, W., GONFA, G. (2023). Fresh water resource, scarcity, water salinity challenges and possible remedies: A review. *Heliyon*, 9(8), 18685. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18685>.
- NGUYEN, L.N., KUMAR, J., VU, M.T., MOHAMMED, J.A.H., PATHAK, N., COMMAULT, A.S., SUTHERLAND, D., ZDARTA, J., KUMAR TYAGI, V., NGHIEM, L.D. (2021). Biomethane production from anaerobic co-digestion at wastewater treatment plants: A critical review on development and innovations in biogas upgrading techniques. *Science of The Total Environment* 2021, 765, 142753. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142753>.
- OBAIDEEN, K., SHEHATA, N., SAYED, E.T., ABDELKAREEM, M.A., MAHMOUD, M.S., OLABI, A.G. (2022). The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainability guideline. *Energy Nexus*, 7, 100112.
- OJEU (Official Journal of European Union) Directive 2008/98/EC of the European Parliament and the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives, 2008.

- OMOLAYO, Y., FEINGOLD, B.J., NEFF, R.A., ROMEIKO, X.X. (2021) Life cycle assessment of food loss and waste in the food supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105119. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105119>.
- RAJABI HAMEDANI, S., VILLARINI, M., COLANTONI, A., CARLINI, M., CECCHINI, M., SANTORO, F., PANTALEO, A. (2020). Environmental and economic analysis of an anaerobic co-digestion power plant integrated with a compost plant. *Energies*, 13(11), 2724.
- RANA, R.L., LOMBARDI, M., GIUNGATO, P., TRICASE, C. (2020). Trends in Scientific Literature on Energy Return Ratio of Renewable Energy Sources for Supporting Policymakers. *Administrative Science* 2020, 10, 21. <https://doi.org/10.3390/admsci10020021>.
- REGIONE PUGLIA. Osservatorio Regionale dei Rifiuti Puglia, 2023. <https://pugliacon.regione.puglia.it/orp/public/servizi/rsu-per-comune> (accessed 18 September 2023).
- RITCHIE, H., ROSER, H. (2017). Water use and stress. *OurWorldInData.org* (Accessed 18 September 2023).
- SCHUCH, D., LEDERER, J., FELLNER, J., SCHARFF, C. (2023). Separate collection rates for plastic packaging in Austria – A regional analysis taking collection systems and urbanization into account. *Waste Management*, 155, 211-219. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.09.023>.
- TRICASE, C., LOMBARDI, M. (2009). State of the art and prospects of Italian biogas production from animal sewage: Technical-economic considerations. *Renewable Energy* 2009, 34 (3), 477-485. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.06.013>.
- WANG, J., CHEN, X., ZHANG, S., WANG, Y., SHAO, X., WU, D. (2022). Analysis of raw materials and products characteristics from composting and anaerobic digestion in rural areas. *Journal of Cleaner Production* 2022, 338, 130455. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130455>.
- ZAWADZKI, P., KOŃCZAK, B., SMOLIŃSKI, A. (2023). Municipal wastewater reclamation: Reclaimed water for hydrogen production by electrolysis—A case study. *Measurement*, 216, 112928.
- ZHU, T., CURTIS, J., CLANCY, M. (2019). Promoting agricultural biogas and biomethane production: lessons from cross-country studies. *Renewable Sustainable Energy Review*, 114 (2019), 109332.

Revisione dei percorsi di Carbon Neutrality alla luce della futura norma ISO 14068: limiti e prospettive di ricerca per la sua efficace implementazione

Alessandro Manzardo

Università di Padova

Filippo Zuliani

Università di Padova

Andrea Fedele

Università di Padova

Alessandro Marson

Università di Padova

Saverio De Franceschi

Università di Padova

ABSTRACT

La preoccupazione della comunità internazionale per gli effetti avversi dei cambiamenti climatici spinge il mondo delle imprese ad adottare modelli utili a guidare l'innovazione dei propri processi e delle proprie filiere verso la decarbonizzazione. La nuova norma ISO 14068, che verrà pubblicata entro il 2023, intende fornire requisiti e linee guida per centrare in modo efficace questo obiettivo. Partendo dalla quantificazione della Carbon Footprint secondo l'approccio del ciclo di vita, l'azienda dovrà sviluppare opportuni piani per la riduzione del proprio impatto sui cambiamenti climatici.

L'obiettivo dello studio è quello di discutere i punti più salienti del nuovo standard al fine di far emergere quelle criticità che ne possono limitare l'applicabilità e costituire un punto di rottura rispetto a pratiche ampiamente adottate nei mercati.

Lo studio prende in considerazione un caso nel settore Food presentando il percorso di Sammontana e come questo potrà cambiare alla luce della nuova norma. Lo studio affronta il tema della quantificazione della Carbon Footprint della line Barattolino e ne discute i possibili percorsi di decarbonizzazione secondo i nuovi requisiti.

I risultati dell'analisi mettono in luce diverse discrepanze tra le pratiche operative diffuse ed i requisiti della nuova norma che lascia aperte importanti questioni a partire dalla stima delle emissioni fino alla gestione di quelle dirette ed indirette. È possibile concludere come la norma, sebbene dia importanti riferimenti basati sul consenso, non sia in grado di rispondere a tutte le necessità operative che è possibile dover affrontare in un percorso di decarbonizzazione.

PAROLE CHIAVE/KEYWORDS: Carbon Neutrality, Food, Carbon Footprint, Compensazione.

1 Introduzione

Con la pubblicazione del pacchetto “pronti per il 55%” l’Unione Europea (European Commission, 2021) definisce un nuovo quadro legislativo fatto di direttive e regolamenti mirati all’accompagnamento degli stati membri, delle sue aziende e dei suoi cittadini all’ottenimento dell’ambizioso obiettivo di diventare climate neutral, ovvero a emissioni nette di gas serra pari a zero, entro il 2050 (European Commission & Directorate-General for Climate Action, 2019). Le azioni che ne derivano, nel concreto, agiscono direttamente sul sistema energetico Europeo per favorire la sostituzione delle fonti fossili con nuove fonti di energia rinnovabile oltre che favorire una progressiva contrazione dei consumi per garantire un efficiente uso delle fonti, proseguendo di fatto quanto già tracciato nei precedenti piani conseguenza degli accordi di Kyoto (European Parliament et al., 2021; European Parliament & Council of the European Union, 2018). Sebbene questo nuovo corso possa quindi, nella sua attuazione, essere in continuità con il passato, se riletto nei principi che lo guidano, ci pone davanti ad una nuova consapevolezza: tutte le attività industriali e commerciali, indipendentemente dalla classificazione merceologica e dal mercato, dovranno seguire una traiettoria di decarbonizzazione. Emerge quindi una chiara necessità ovvero quella di disporre di metodi e modelli riconosciuti in grado di guidare questa transizione in modo solido e credibile.

Sono numerose le iniziative volontarie istituzionali e non che negli ultimi anni hanno prodotto e pubblicato delle linee guida e dei programmi che accompagnano le aziende in questa direzione. Le Nazioni Unite (UN, 2015) nel 2015, contestualmente alla stipula dell’Accordo di Parigi, lanciano l’iniziativa Climate Neutral Now che invita le organizzazioni aderenti a impegnarsi nel monitoraggio delle proprie emissioni di gas serra in ottica di ciclo di vita e di pubblicare e quindi seguire un piano di riduzione e di compensazione delle stesse. Sono oltre 26.000 le organizzazioni aderenti che provengono da oltre 168 paesi (UNFCCC, 2023). Un’altra iniziativa, allineata a questa delle Nazioni Unite, che sta avendo un grande successo nel mondo delle imprese è denominata Science Based Target. Questa invita gli aderenti a sviluppare il monitoraggio delle proprie emissioni e ad adottare un impegno formale alla riduzione del proprio impatto sui cambiamenti climatici in linea con gli obiettivi degli Accordi di Parigi (SBTi, 2023). Altre iniziative volontarie, nel corso degli ultimi anni, sono state portate avanti anche da alcuni paesi dell’Unione Europea come ad esempio

dal Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica Italiano (MASE, 2023) con i suoi programmi volontari oppure l’Agence de la transition écologique francese che ha introdotto con la legge Grenelle II il metodo Bilan Carbon ed il metodo di analisi Assessing low-Carbon Transition (ADEME & CDP, 2019) per supportare le imprese nella definizione di traiettorie di decarbonizzazione. Sebbene tutte queste iniziative abbiano lo stesso obiettivo di decarbonizzare l’economia, i metodi ed i modelli sottesi possono essere anche diversi tra loro. Ad esempio, SBTi promuove l’azione del GHG Protocol (GHG Protocol, 2004) mentre le altre della norma ISO 14064-1 (ISO, 2018a). Alcune iniziative riferiscono a traiettorie di decarbonizzazione come nel caso di ACTs mentre altre non lo ritengono necessario.

Come spesso accade quando nel mercato si avverte la necessità di armonizzazione, ISO ha avviato un percorso per la definizione di un nuovo standard internazionale, ISO 14068 per la Carbon Neutrality. Il Documento è ora nella fase finale di revisione (Final Draft – FDIS) e probabilmente vedrà la sua pubblicazione entro la fine del 2023 o agli inizi del 2024 (ISO, 2023).

L’obiettivo dello studio è quello di discutere i punti più salienti del nuovo standard al fine di far emergere quelle criticità che ne possono limitare l’applicabilità e costituire un punto di rottura rispetto a pratiche ampiamente adottate nei mercati.

2 Materiali e metodi

Al fine della conduzione dello studio, si è deciso di operare un confronto tra i contenuti del Final Draft dello standard ed un caso studio di azienda che nel corso del tempo ha aderito ad un’iniziativa di decarbonizzazione impegnandosi quindi nel calcolo delle emissioni di gas serra di prodotto o organizzazione e nella riduzione e compensazione delle stesse. Il caso selezionato è quello di Sammontana S.p.A. Società Benefit (Sammontana) e nello specifico della linea Barattolino. L’azienda, 2016, ha infatti in passato aderito agli accordi volontari del MASE per la decarbonizzazione (MASE, 2023). In questo capitolo verranno quindi presentate prima la norma e la sua struttura e successivamente il percorso di Sammontana. Ai fini della comparazione verranno confrontate quindi le azioni di Sammontana con i requisiti del futuro standard organizzati nelle principali fasi del percorso di decarbonizzazione previsto dalla norma ISO 14068.

2.1 La norma ISO/FDIS 14068

La norma ISO 14068 specifica i principi, i requisiti e le linee guida per consentire ad un’organizzazione di raggiungere e dichiarare la Carbon Neutrality. Questa viene definita come lo stato in cui l’organizzazione, con

riferimento ad uno specifico periodo di tempo (e.g. un anno), ha ridotto le proprie emissioni di gas serra (tutti i gas non solo CO₂), aumentato la loro rimozione all'interno dei propri confini e successivamente acquistato crediti di carbonio pari alle emissioni residue. La norma si applica a qualsiasi genere di organizzazione ad esclusione dei territori la cui competenza rimane legata agli accordi internazionali della convenzione quadro per i cambiamenti climatici (UNFCCC) (UN General Assembly, 1994). Nel guidare le organizzazioni verso la Carbon Neutrality, la norma istituisce una gerarchia di interventi dove riduzioni e rimozione di emissioni sono prioritarie rispetto alle pratiche di off-setting ovvero l'acquisto di crediti di carbonio.

La struttura della norma e quindi l'insieme di requisiti necessari al raggiungimento della Carbon Neutrality può essere rappresentata (figura 1) in 4 step.

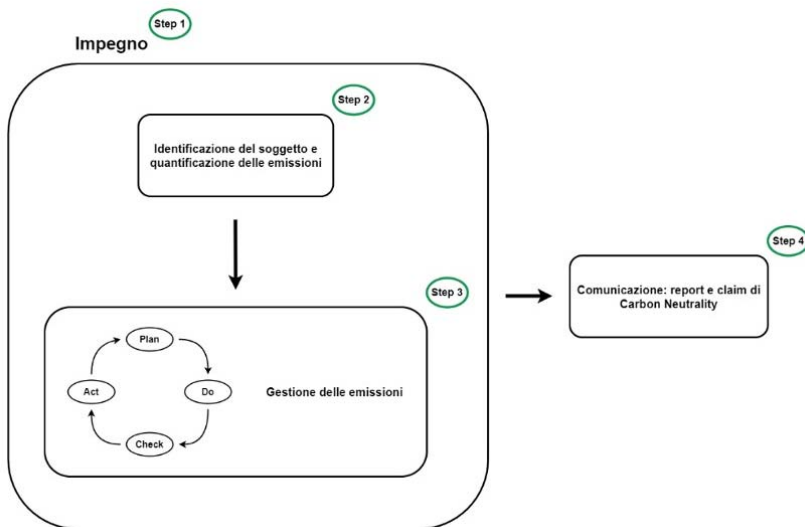


Figura 1 – Step per il raggiungimento della Carbon Neutrality

Il primo STEP consiste nella definizione e documentazione di un impegno alla Carbon Neutrality ovvero nella definizione del quadro di riferimento entro il quale definire gli obiettivi e la traiettoria di riduzione/rimozione per ottenere la Carbon Neutrality. Il documento deve essere inserito nel più ampio contesto dei sistemi di gestione dell'organizzazione ed evidenziare il coinvolgimento dell'alta direzione oltre che l'impegno al miglioramento continuo, al rendere disponibili le risorse necessarie e a valutare, ridurre e se possibile evitare esternalità negative sulla società e l'ambiente.

Il secondo STEP prevede di identificare l'oggetto del percorso di Carbon Neutrality (una o più organizzazioni; uno o più prodotti), e la quantificazione della sua Carbon Footprint. Quest'ultima deve avvenire secondo gli standard ISO 14064-1 (ISO, 2018a) per le organizzazioni ed ISO 14067 (ISO, 2018b) per i prodotti o secondo altri riferimenti metodologici ritenuti equivalenti. L'eventuale scelta di non utilizzare gli standard ISO come riferimento per la quantificazione va tuttavia opportunamente spiegata e giustificata presentando chiaramente le differenze che intervengono. Si sottolinea che l'analisi della Carbon Footprint e di conseguenza la Neutrality, riguardano la considerazione dell'intero ciclo di vita. Sono ammesse esclusioni solo se opportunamente giustificate e ragionevoli rispetto alla natura dell'oggetto della Carbon Neutrality (e.g. nel caso di mercato business to business è possibile adottare un approccio cradle to gate).

Il terzo STEP consiste nella definizione e sviluppo del percorso di gestione delle emissioni di gas serra. In questo passaggio l'approccio che segue la norma è riconducibile a quello noto dei sistemi di gestione ambientale come la ISO 14001 (ISO, 2015). Esiste una fase di Plan ovvero di definizione del Carbon Neutrality Management Plan, un documento dove l'organizzazione presenta tutti gli elementi necessari alla pianificazione del percorso che si intende intraprendere. Devono infatti essere definiti i target, i tempi, i modi, le risorse, le responsabilità, le attività (riduzione/rimozione/compensazione) previste oltre che gli indicatori necessari alla verifica del raggiungimento degli obiettivi (che possono essere assoluti e relativi rispetto a indici di intensità carbonica) e alla garanzia di minimizzare o evitare altre esternalità negative su ambiente e società. Il piano deve essere revisionato ad intervalli regolari al fine di mantenere la sua efficacia come avviene ad esempio nelle procedure di revisione nell'ambito dei sistemi di gestione in ottica di miglioramento continuo. Un altro elemento che va definito in questa fase di pianificazione è il cosiddetto livello di ambizione ovvero l'estensione con cui le azioni programmate contribuiscono a più ampi obiettivi globali di riduzione (come nel caso degli Science Based Targets) (SBTi, 2023). Alla fase di pianificazione segue una fase di attuazione del piano che consiste, secondo un approccio gerarchico, nell'attuare gli interventi di riduzione, successivamente o contestualmente quelli che prevedono un aumento delle rimozioni ed infine, se necessario, l'off-setting delle emissioni residue. Con particolare riferimento a quest'ultima pratica, vengono definite le regole base per distinguere i crediti valevoli ai fini della Carbon Neutrality nel rispetto di quelli che sono i principi di addizionalità e altri principi definiti in contesti internazionali come in seno all'Accordo di Parigi (United Nations, 2015).

Il quarto STEP consiste nelle attività di rendicontazione interna ed esterna. La norma chiede infatti di redigere un Carbon Neutrality report e

l'eventuale Carbon Neutrality claim. Il primo consiste in un documento redatto per ogni periodo di rendicontazione che dettaglia tutti gli elementi tecnici atti a riassumere il percorso dell'azienda e a sostanziare e documentare tutti gli step della norma descritti qui sopra. Il secondo, in linea con i contenuti della ISO 14026 (ISO, 2017), consiste nella dichiarazione pubblica di Carbon Neutrality che deve essere composta da tre elementi: la dichiarazione, l'explanatory statement, che definisce i confini ed i limiti della dichiarazione, ed il supporting information ovvero un documento che riassume i principali elementi del Carbon Neutrality report e che deve essere reso accessibile e disponibile al pubblico interessato al claim di neutrality.

2.2 Il percorso di Carbon Neutrality del Barattolino Sammontana Sammontana SpA (di seguito Sammontana) è tra le aziende leader in Italia per la produzione e commercializzazione di gelati confezionati. Nel corso del 2016 è stata la prima azienda del settore a sottoscrivere un accordo volontario con l'allora Ministero dell'Ambiente, oggi MASE, allo scopo di sviluppare una metodologia di analisi del ciclo di vita del gelato e alla progettazione e attuazione di percorsi di decarbonizzazione, compensazione e comunicazione delle performance ambientali dei prodotti in oggetto nonché della stessa collaborazione con il Ministero. L'accordo, avviato nel 2016, è stato poi seguito da diverse successive collaborazioni con il MASE tenendo però sempre traccia del punto di partenza ovvero lo studio ed il miglioramento delle performance legate ad una delle linee di prodotto più rappresentative dell'azienda ovvero la linea del Barattolino Sammontana (di seguito anche detta Linea).

Il percorso dell'azienda può quindi essere declinato in 4 STEP che ricalcano di fatto la struttura della norma ISO/FDIS 14068 presentata nel precedente paragrafo.

Il primo STEP è stato quello della definizione e di un impegno da parte dell'azienda al calcolo dell'impronta ambientale della Linea, con particolare riferimento alle emissioni di gas ad effetto serra ovvero la Carbon Footprint, allo sviluppo di un piano di riduzione e di compensazione e alla presentazione di un piano di comunicazione. Tutti questi passaggi sono contenuti nell'Accordo Volontario stilato che ha previsto, tra le altre cose, la definizione degli output attesi, le azioni dettagliate di ogni fase e la definizione di tempi definiti entro i quali attendere la chiusura delle diverse attività.

Il secondo STEP del progetto è consistito nella quantificazione della Carbon Footprint della linea ovvero di ogni referenza che vi fa parte. L'azienda ha strutturato questa attività secondo le norme ISO 14040 e 44 per l'analisi del ciclo di vita, si segnala che la norma ISO 14067 sarebbe stata pubblicata solo due anni dopo l'avvio del progetto. Vengono qui di

seguito riportati i principali elementi e risultati dell'ultimo aggiornamento sulla linea ovvero quello che fa riferimento all'anno 2022. Verranno altresì riportati legati al monitoraggio della Linea. La stessa nell'anno 2022 è composta da 23 referenze commercializzate nello stesso formato di peso pari a 500 g (peso dichiarato) e confezionate negli stabilimenti di Empoli (FI) e Colognola ai Colli (VR). Oltre a queste rientrano altre referenze che però sono escluse dall'analisi ai fini del presente lavoro di ricerca. Alla Linea Barattolino è associata una quantità di gelato prodotto nel 2022 pari a 9.642 tonnellate. Si fa presente che l'azienda ha attuato la pratica di studiare sia le referenze prodotte a consuntivo che quelle programmate quindi a preventivo. L'obiettivo del lavoro, che viene poi reso disponibile a terze parti, è quello di supportare sia ragionamenti di natura tecnica (e.g. eco-design) che di marketing e che non hanno scopo comparativo con prodotti di terzi. L'unità funzionale adottata si identifica con la produzione del totale di massa di gelato dell'intera linea Barattolino presso lo stabilimento di Empoli (FI) e di Colognola ai Colli (VR), destinata al consumatore finale. I confini del sistema sono stati definiti includendo tutti i processi e i servizi attribuibili (attributable processes) ad ogni prodotto analizzato nel suo ciclo di vita (cradle to grave). Una rappresentazione degli stessi viene fornita in Figura 2. È stato utilizzato un cut-off su base massa trascurando l'insieme dei flussi di materia che complessivamente rappresentano meno del 1% del flusso compressivo in ingresso e l'allocazione, ove necessario (e.g. composti chimici depurazione, energia elettrica etc.) è stato adottato un principio di allocazione su base massa. La caratterizzazione avviene in termini di kg CO₂ eq (chilogrammi di CO₂ equivalente) secondo quanto previsto dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Il metodo utilizza quindi i fattori di caratterizzazione GWP 100a IPCC 2021.

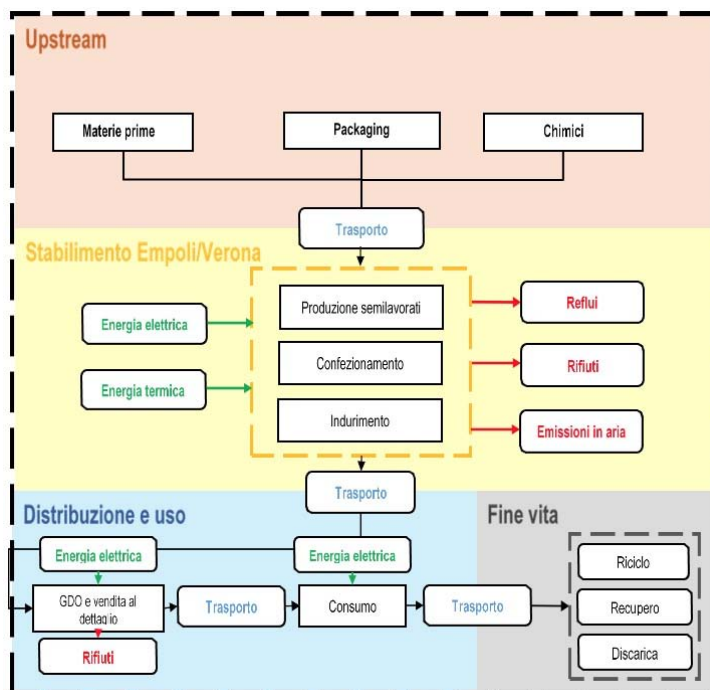


Figura 2 – I confini del sistema

Si precisa che l'azienda monitora anche altri indicatori di potenziale impatto ambientale oltre alla Carbon Footprint. Ai fini del presente lavoro si presenteranno tuttavia i soli dati relativi ai potenziali effetti sui cambiamenti climatici. In relazione alla fase di inventario si evidenzia come siano stati raccolti dati primari sui consumi, la tipologia e la provenienza di materie prime, packaging e chimici oltre che per i consumi di stabilimento e la produzione di rifiuti. Sono stati utilizzati dati secondari per le altre fasi del ciclo di vita oltre che la banca dati Ecoinvent 3.6 (ecoinvent, 2019). Si precisa inoltre che ai fini dei monitoraggi periodici l'azienda conduce opportune revisioni della baseline ai fini di allineamenti e novità metodologiche (e.g. aggiornamento dei metodi di impatto, errori e omissioni). Si considerano inoltre dati primari per la logistica distributiva mentre il fine vita viene modellato considerando le raccomandazioni della PEFCR Guidance v6.3 e della relativa Circular Footprint Formula (European Commission, 2017). I risultati della Carbon Footprint suddivisi per ciclo di vita sono riportati in Tabella 1. Ai fini dello studio sono state inoltre condotte analisi di sensitività con assunzioni sui mix energetici, e di incertezza.

Fase ciclo di vita	Unità di misura	Linea Barattolino 2022
Materie prime	kg CO2 eq	1,87E+07
Packaging	kg CO2 eq	1,52E+06
Produzione	kg CO2 eq	4,43E+06
Distribuzione	kg CO2 eq	4,05E+06
Fase d'uso	kg CO2 eq	2,41E+06
Fine vita	kg CO2 eq	9,72E+04
Totale	kg CO2 eq	3,12E+07

Tabella 1 – Risultati della Carbon Footprint della linea Barattolino

Il terzo STEP del progetto è consistito nella definizione di un piano di riduzione e di compensazione oltre che il monitoraggio delle performance nel tempo. In particolare si fa presente che il piano predisposto è intervenuto su due aree in particolare ovvero il cambio dei packaging primari con il passaggio dal barattolino in plastica alla carta politenata adottato negli anni 2020 – 2021 e allo sviluppo di nuove ricette che hanno complessivamente ridotto gli ingredienti a maggior impatto sui cambiamenti climatici identificati ad esempio in quelli a maggior contenuto di grassi animali e zuccheri. I risultati degli interventi vengono monitorati dall'azienda come riportato in figura 3 dove a fronte di un incremento dei volumi prodotti del 43% è possibile identificare una riduzione complessiva delle emissioni di Carbon Footprint (figura 3). Si fa presente che il monitoraggio riportato parte dal 2019 anno scelto come baseline per la riduzione delle emissioni.

Sempre con riferimento a questa fase Sammontana nel corso degli anni ha proceduto con la compensazione delle emissioni residue della Linea con l'acquisto di crediti provenienti ad esempio dalla realizzazione di un parco eolico in Rajasthan (India) e la riforestazione in Uruguay (Sammontana, 2021). L'azienda compensa inoltre, in via previsionale, le emissioni legate ai nuovi prodotti che lancia nel mercato se appartenenti alla Linea.

Lo step 4 fa infine riferimento alle attività di rendicontazione per cui l'azienda realizza annualmente l'aggiornamento dello studio secondo ISO 14040 e 44 che viene sottoposto a revisione critica, di un report di comunicazione che viene quindi reso disponibile al pubblico sul sito del-

l'azienda e a supporto dei claim fatti in relazione alla riduzione degli impatti della stessa Linea.

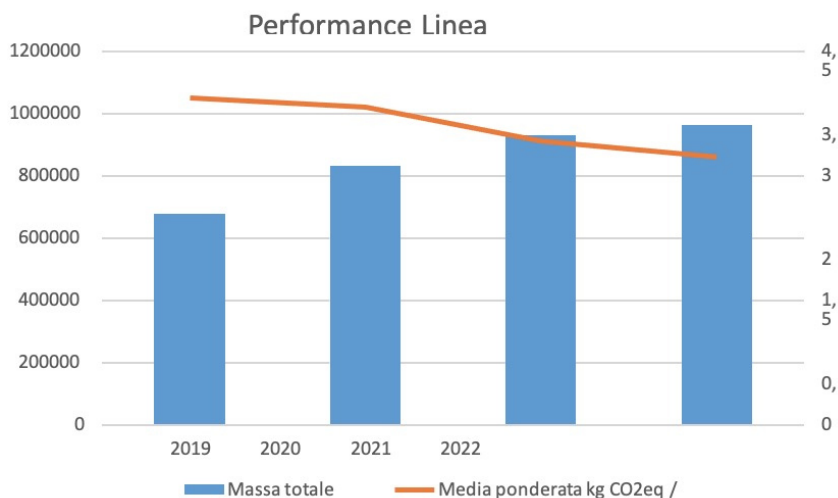


Figura 3 – I risultati del monitoraggio della Carbon Footprint

3 Risultati e discussioni

Dall'analisi ed il confronto dei due percorsi, ovvero quello previsto dalla futura norma ISO/FDIS 14068 e quello effettivamente intrapreso da Sammontana, è subito possibile identificare un generale allineamento tra le fasi e le azioni.

Entrando tuttavia nel dettaglio di ognuno degli step identificati, che ricordiamo essere in totale 4, è possibile evidenziare alcuni elementi diversi ed in particolare requisiti aggiuntivi previsti dalla norma nel perseguimento della Carbon Neutrality.

Con riferimento allo STEP 1 consiste nella definizione di un Carbon Neutrality Pathway ovvero nella progettazione e visualizzazione di possibili traiettorie di riduzione delle emissioni che devono già essere di input per la successiva definizione di dettaglio dei piani di decarbonizzazione. Sammontana non ha incluso questo elemento nel proprio percorso. Si sottolinea tuttavia come questo elemento di novità presenti dei limiti e porti con sé anche alcune aree di indagine e di sviluppo della ricerca. Il primo limite consiste nell'obbligo di rifarsi a percorsi stabiliti da iniziative internazionali opportu-

namente declinate nel settore merceologico di riferimento. Questi percorsi sono disponibili in modo molto generico e di conseguenza con una certa intrinseca incertezza in iniziative internazionali come SBTi (SBTi, 2023) o in casi dettagliati, come per la metodologia ACTs (ADEME & CDP, 2019) solo per alcuni settori e con riferimento alla Francia. L'assenza di riferimenti, come nel caso del gelato, rende la definizione degli scenari incerta e legata ad assunzioni specifiche fatte dal soggetto che intraprende il percorso di decarbonizzazione. Altro limite sta nel richiedere di identificare sin da subito quelle che saranno le emissioni residue alla fine quindi di tutto il percorso. La norma da alcune indicazioni in Annex A ma senza fornire una procedura chiara e definita per cui manca consenso anche nel mondo della ricerca (Buck et al. 2023). Altri elementi di novità stanno sicuramente nella richiesta di valutare sin da subito la struttura di risorse umane da dedicare. Un elemento di distanza rispetto agli accordi volontari del MASE ma colta e implementata da Sammontana risiede nel verificare le altre esternalità così da assicurarsi che il percorso di riduzione non generi danni in altri compartimenti. In questo caso l'azienda, infatti, monitora diversi indicatori oltre alla Carbon Footprint (e.g. per la parte ambientale Water Scarcity e Land use).

Con riferimento allo STEP 2 non si rilevano particolari differenze nel metodo di base, che si basa sull'approccio del ciclo di vita descritto nelle norme ISO 14040 (ISO, 2006a) ed ISO 14044 (ISO, 2006b). Si evidenzia tuttavia come la norma, in relazione ai prodotti, faccia esplicito riferimento alla ISO 14067 (ISO, 2018b) che prevede di fatto accortezze aggiuntive nella rendicontazione delle emissioni (e.g. devono essere rendicontate separatamente le emissioni biogeniche, quelle fossili, gli assorbimenti, le emissioni aircraft) o ad aspetti specifici di inventario (e.g. vanno dichiarati sia i risultati con approccio market-based che location-based).

Con riferimento allo STEP 3 la prima evidente differenza consiste nella chiara intenzione della norma di strutturare in modo organico un sistema di gestione della decarbonizzazione anche con evidenze documentali e procedure definite. Si evidenzia inoltre come si chieda di definire un livello di ambizione rispetto al contributo dell'azienda a più ampi obiettivi internazionali. Uno degli elementi più rilevanti riguarda tuttavia la gerarchia che viene data alle diverse tipologie di crediti di emissione. Nel corso dell'attuazione del piano si deve infatti prima dimostrare di aver ridotto anno per anno le emissioni o aumentato anno per anno le rimozioni, auspicabilmente almeno secondo quanto previsto nel piano, e poi compensare quelle residue attraverso crediti derivanti da progetti di riduzione o rimozione. Alla fine del piano, quando solo le emissioni residue saranno quindi presenti, il soggetto interessato potrà usare solo crediti da rimozione. Il percorso di Sammontana risulta in buona parte in linea con questi requisiti tuttavia non presenta iniziative di rimozione da attività interne all'azienda.

Rispetto al tema delle compensazioni la norma presenta dei punti che dovrebbero essere tuttavia chiariti come ad esempio se la compensazione e quindi la neutrality possa avvenire anche all'anno zero del piano oltre che con riferimento a prodotti che non sono ancora nel mercato e quindi secondo un approccio preventivo e consuntivo. Altro elemento non chiaro interessa come trattare le emissioni già compensate dai propri fornitori.

Con riferimento all'ultimo STEP, la norma segue molto da vicino quelli che sono i requisiti della ISO 14026 per la comunicazione dei Footprint (ISO, 2017). Non sono ravvisabili differenze significative con quanto fa già Sammontana se non con riferimenti agli elementi assenti già discussi in questo capitolo.

4 Conclusioni

In questo contributo sono stati presentati i principali contenuti della futura norma ISO 14068 per la Carbon Neutrality ed è stata discussa la sua possibile applicazione in un caso studio come quello di Sammontana per la Linea Barattolino che è stata soggetta ad un percorso di decarbonizzazione in linea con gli Accordi Volontari del MASE.

L'analisi ha messo in luce come la norma di fatto presenti diversi elementi già applicati nel caso in esame con alcune novità in particolare in riferimento alla definizione di una pathway di decarbonizzazione oltre che il livello di ambizione e la stima delle emissioni residue. La norma, sebbene standard condiviso a livello ISO, presenta degli elementi che potranno essere oggetto di futuri sviluppi di ricerca che vanno dalla stima dei pathway, alla definizione delle emissioni residue fino allo sviluppo di procedure opportune per la dichiarazione di carbon neutrality di nuovi prodotti non ancora messi nel mercato.

References

- ADEME, & CDP. (2019). *ACT Framework – Assessing Low Carbon Transition*. <https://actinitiative.org/wp-content/uploads/pdf/act-framework-eng-2019-04-09.pdf>
- ECOINVENT. (2019). *Ecoinvent database version 3.6*.
- EUROPEAN COMMISSION. (2017). *PEFCR Guidance document – Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3*. https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/PEFCR_guidance_v6.3-2.pdf.
- EUROPEAN COMMISSION. (2021). “Fit for 55”: delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM%3A2021%3A550%3AFIN>.
- EUROPEAN COMMISSION, & DIRECTORATE-GENERAL FOR CLIMATE ACTION. (2019). *Going climate-neutral by 2050 – A strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy*. Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2834/02074>.
- EUROPEAN PARLIAMENT, & COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. (2018). *DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>.
- EUROPEAN PARLIAMENT, DIRECTORATE-GENERAL FOR PARLIAMENTARY RESEARCH SERVICES, & TENHUNEN, S. (2021). *Energy performance of buildings 2010/31/EU Directive – Fit for 55 revision – Implementation in action – In-depth analysis*. European Parliament. <https://doi.org/doi/10.2861/05615>.
- GHG PROTOCOL. (2004). *GHG Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard REVISED EDITION*. <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>.
- ISO. (2006a). *ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. International Organization for Standardization, Switzerland.
- ISO. (2006b). *ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*. International Organization for Standardization, Switzerland.
- ISO. (2015). *ISO 14001: Environmental management systems – Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization, Switzerland.

- ISO. (2017). *ISO 14026: Environmental labels and declarations – Principles, requirements and guidelines for communication of footprint information*. International Organization for Standardization, Switzerland.
- ISO. (2018a). *ISO 14064-1: Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*. International Organization for Standardization, Switzerland.
- ISO. (2018b). *ISO 14067: Greenhouse gases – Carbon footprint of products Requirements and guidelines for quantification*. International Organization for Standardization, Switzerland.
- ISO. (2023). *ISO 14068 FDIS: Greenhouse gas management and climate change management and related activities – Carbon neutrality*. International Organization for Standardization, Switzerland. www.iso.org.
- MASE. (2023). Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica – Accordi volontari e prodotti che aderiscono al programma. <https://www.mase.gov.it/pagina/accordi-volontari-e-prodotti-che-aderiscono-al-programma>.
- SAMMONTANA. (2021). *Sustainability Sammontana*. <https://sustainability.sammontana.com/results/quantifying-environmental-impact.html>.
- SBTi. (2023). *SBTi Monitoring Report 2022*. <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/SBTiMonitoringReport2022.pdf>.
- UN GENERAL ASSEMBLY. (1994). *United Nations Framework Convention on Climate Change: resolution / adopted by the General Assembly. A/RES/48/189*.
- UNFCCC. (2023). *Global Climate Action*. <https://climateaction.unfccc.int/>.
- UNITED NATIONS. (2015). *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*.

Ristorazione collettiva nelle scuole e negli ospedali: monitoraggio della qualità della dieta mediante colorimetria a riflettanza

Antonella Calabretti

Università di Trieste

Giulio Barocco

Azienda Sanitaria Universitaria Giuliano Isontina

Barbara Campisi

Università di Trieste

Paola Masotti

Università di Trento

Paolo Bogoni

Università di Trieste

ABSTRACT

Nei “Principi guida per una dieta sana e sostenibile”, l’Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e l’Organizzazione delle Nazioni Unite per l’alimentazione e l’agricoltura (FAO) sottolineano le sinergie tra i nutrienti presenti nei modelli alimentari e l’influenza della struttura fisica delle matrici alimentari sulla loro biodisponibilità. Viene altresì sottolineata l’influenza del grado di processamento di un alimento sulle sue caratteristiche fisiche e chimiche e sul conseguente impatto sulla salute. In accordo con i “Principi guida” sopracitati, il Ministero della Salute italiano, nelle linee guida nazionali per la ristorazione collettiva, indica procedure di attivazione per la conservazione delle qualità nutrizionali dei micronutrienti e delle sostanze bioattive. Le centrali di acquisto della Regione Friuli Venezia Giulia hanno applicato questi criteri, introducendo il Processo dei Punti Critici di Controllo dell’Analisi dei Nutrienti (NACCP) negli appalti pubblici per la ristorazione scolastica di 26 comuni e per tutti i sistemi di ristorazione collettiva per gli ospedali regionali.

Questo studio, che rappresenta il prosieguo di una precedente indagine, si propone di sviluppare un metodo rapido ed economico per monitorare la qualità nutrizionale dei pasti applicando il processo NACCP. A tale scopo, sono stati monitorati gli alimenti più frequentemente somministrati in ambiente ospedaliero – quali le verdure – e che più di altri sono suscettibili di perdite nutrizionali significative. Una ventina di campioni di spinaci e biette sono stati prelevati e sottoposti ad analisi convenzionali per determinare l’attività antiossidante e il contenuto di polifenoli totali. I campioni di spinaci sono stati poi analizzati con un metodo colorimetrico rapido. I risultati hanno mostrato una buona corrispondenza tra le analisi convenzionali e quelle colorimetriche.

PAROLE CHIAVE/KEYWORDS: dieta sostenibile, nutrienti, sistemi di ristorazione collettiva, polifenoli, attività antiossidante, colorimetria / sustainable diet, nutrients, collective catering, polyphenols, antioxydant activity, colorimetry

1 Introduzione

In “The Sustainable Healthy Diet, guiding principles” (FAO & WHO, 2019), l’Organizzazione delle Nazioni Unite per l’alimentazione e l’agricoltura con l’Organizzazione Mondiale della Sanità evidenziano alcuni aspetti fondamentali, ancorché spesso trascurati, dell’alimentazione: quali ad esempio l’influenza della struttura chimico – fisica delle matrici alimentari sulla biodisponibilità delle sostanze e, a sua volta, l’influenza del grado di processamento su tale struttura chimico – fisica con il conseguente impatto sulla nostra salute, anche per quanto riguarda le malattie non trasmissibili, come riportato negli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile 3.4 (United Nations, 2015). In accordo con i “Principi guida” sopracitati, il Ministero della Salute indica, nell’allegato “8. Elementi qualitativi” delle linee guida nazionali per la ristorazione collettiva, l’attivazione di procedure per la conservazione delle qualità nutrizionali dei micronutrienti e delle sostanze bioattive e per la riduzione del decadimento di nutrienti e componenti salutari presenti nel prodotto finito (Ministero della Salute, 2018). Le centrali d’acquisto della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, come raccomandato dall’Accordo Stato Regioni 222/2016 (Ministero della Salute, 2016) hanno applicato questi criteri, introducendo il Processo dei Punti Critici di Controllo dell’Analisi dei Nutrienti (NACCP) (Di Renzo *et al.*, 2015), negli appalti pubblici per la ristorazione scolastica di ventisei comuni e tutti i diciotto sistemi di ristorazione collettiva per gli ospedali regionali, per oltre 3 milioni di pasti all’anno serviti.

Va dunque qui rimarcata l’attenzione al tema della ristorazione ospedaliera, poiché durante il periodo di degenza il paziente potrebbe subire un peggioramento delle sue condizioni a causa di una diminuita assunzione di cibo dovuta a un ridotto appetito, indotto dalla malattia, oppure da problematiche intestinali che impediscono un corretto assorbimento dei nutrienti necessari, portando così all’insorgenza di una condizione di malnutrizione. Tale condizione comporta un’alterata composizione della massa corporea e della massa cellulare, con effetti di diminuzione delle funzioni fisiche e mentali e dunque di un esito clinico alterato (Cederholm *et al.*, 2017). Un prolungamento del periodo di malnutrizione per chi permane a lungo tempo nel reparto ospedaliero implica degli effetti che si ripercuotono in maniera significativa sia sullo stato di salute dell’individuo che, di conseguenza, sulla spesa sanitaria. È stato notato come pazienti aventi una diagnosi di malnu-

trizione presentino un significativo aumento della permanenza in ospedale e, non solo l'incidenza della malnutrizione aumenta nei pazienti con più di 70 anni, ma essa è correlata anche ad un aumento della mortalità in questa fascia di popolazione (Corkins *et al.*, 2014; Kang *et al.*, 2017). Bisogna peraltro sottolineare come vadano considerate anche le cause non strettamente correlate alle condizioni del singolo individuo, ovvero lo stato degli alimenti serviti, che dovrebbero presentare un'elevata qualità in termini non solo di nutrienti energetici ma anche funzionali e protettivi nel prevenire diverse patologie di tipo neurodegenerativo o cardiovascolare, soprattutto se si considera come nel periodo di degenza ospedaliera ci siano molti fattori che concorrono a favorire un peggioramento delle condizioni, quali la limitata mobilità e la lunga permanenza a letto. Anche se il Servizio Sanitario Nazionale italiano, in base ai propri principi fondamentali, si impegna a garantire a tutti i cittadini i Livelli Essenziali di Assistenza (LEA) tramite un'organizzazione capillare sul territorio realizzata da Aziende Sanitarie Locali, Aziende ospedaliere e strutture convenzionate (Ministero della Salute, 2022), risulta comunque necessario compiere delle scelte sui trattamenti da utilizzare in base ai costi. Da ciò deriva l'imprescindibile attuazione di interventi atti a diminuire il periodo di degenza del singolo paziente, garantendo soprattutto (tema di questo lavoro) una alimentazione ottimale durante la permanenza in ospedale, così riducendo il carico economico per il Servizio Sanitario Nazionale e aumentando la disponibilità di risorse *altrimenti utilizzabili* a beneficio della collettività.

In questo studio vengono riportati alcuni risultati di un più ampio progetto, condotto in collaborazione con l'Azienda Sanitaria Universitaria Giuliano Isontina (ASUGI), sul monitoraggio della qualità nutrizionale dei pasti erogati dalle mense scolastiche e ospedaliere del Friuli Venezia Giulia, applicando il processo NACCP. Nello specifico, la nostra indagine è stata condotta al duplice fine di valutare sia l'entità dell'eventuale diminuzione di qualità nutrizionale che può verificarsi tra il momento della preparazione di alcuni alimenti e la loro somministrazione negli ospedali regionali, sia il possibile utilizzo di tecniche analitiche colorimetriche rapide che possano sostituire le tecniche convenzionali maggiormente dispendiose in termini di tempo e di costi relativi alla preparazione del campione.

2 Metodologia

Campionamento

I campioni oggetto di analisi sono stati forniti dall'ASUGI che li ha prelevati presso le mense ospedaliere della Regione Friuli Venezia Giulia, secondo un programma definito. Il servizio di catering per il sistema di ri-

storazione ospedaliera regionale utilizza il cosiddetto *cook and chill*, metodo basato sulla cottura completa degli alimenti, seguita da un raffreddamento immediato e una conservazione in un'ambiente a bassa temperatura, poco al di sopra della temperatura di congelamento, ossia in un intervallo compreso tra 0 e 3 °C. Si tratta di un metodo vantaggioso in quanto permette di raggiungere un tempo di conservazione dell'alimento maggiore dei metodi tradizionali (Fusi *et al.*, 2016).

I campioni sono arrivati in laboratorio lo stesso giorno della preparazione e sono stati immediatamente refrigerati fino al momento delle analisi. In questo studio preliminare sono stati analizzati campioni a base vegetale, quali spinaci e biette a vapore, in quanto rappresentativi degli alimenti serviti più frequentemente a pranzo e a cena, nonché maggiormente a rischio di degradazione dal momento della preparazione fino al momento della somministrazione. Complessivamente sono stati prelevati dieci campioni giornalieri di spinaci e dieci di biette (a seconda della loro disponibilità nel menù) nell'arco temporale di approssimativamente due mesi. Ciascun campione principale, inoltre, è stato suddiviso in funzione dell'orario di prelevamento. I prelievi nelle mense ospedaliere sono stati fatti in tre tempi successivi:

- Ore 11:45. L'alimento precedentemente sottoposto al processo di *cook and chill* viene rigenerato e alle 11.30, terminata la preparazione, viene posto e quindi conservato nei contenitori Gastronorm¹ (a 80°C)
- Ore 12:00. Momento del primo servizio
- Ore 13:30. Momento del secondo servizio, specificamente previsto per alcuni pazienti

Ciascun campione è stato quindi confrontato con il campione crudo surgelato di partenza. Per ciascuno dei metodi analitici sotto riportati, da ogni *campione* sono state ricavate *tre aliquote*.

Determinazione quantitativa dei polifenoli totali

Il saggio di Folin-Ciocalteu permette la quantificazione di molecole polifenoliche tramite una reazione di ossidoriduzione con il reattivo di Folin – Ciocalteu in ambiente alcalino, portando alla formazione di specie con una colorazione blu (assorbimento della luce alla lunghezza d'onda di 765 nm), la cui intensità di colore è direttamente proporzionale al contenuto di polifenoli presenti (Singleton *et al.*, 1999). Il saggio presenta uno svan-

¹ Gastronorm è un sistema standard di misure nel settore della ristorazione, regolamentato dalla norma EN 631, che utilizza dimensioni standard universali per contenitori, vassoi, teglie e attrezzature come forni, frigoriferi, armadi, carrelli bagnomaria, espositori buffet.

taggio legato alla sua non specificità: la colorazione può essere dovuta anche alla reazione di altre specie riducenti quali proteine o composti azotati. Per questo motivo è stato necessario affiancare i risultati del metodo di Folin – Ciocalteu a una determinazione qualitativa e quantitativa dei polifenoli presenti tramite analisi con HPLC- DAD, nonché alla determinazione quantitativa dei tannini e dei flavonoidi (dati non riportati).

Determinazione dell'attività antiossidante tramite ABTS

Tra i diversi metodi per la misurazione dell'attività antiossidante totale di campioni in soluzione, è stato utilizzato il metodo basato sulla misura della decolorazione della soluzione di un composto radicalico cationico, l'ABTS o acido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonico) (Re *et al.*, 1999).

Diffusion Reflectance Accessory

La sfera ottica (DRA) è uno strumento alquanto versatile, utile per effettuare misurazioni su campioni liquidi e solidi tramite un accessorio esterno collegato allo spettrofotometro. All'interno è posta una struttura sferica, detta sfera di Ulbricht o sfera integratrice, la quale è costituita da una superficie interna cava e diffondente, in modo da permettere una riflessione totale della luce in entrata ed evitare che si diriga direttamente al fotorivelatore, falsando così i risultati (Valenta, 2014). Il raggio di luce convogliato alla fessura di uscita nella sfera è inviato al detector situato all'interno dello spettrofotometro tramite un cavo in fibra ottica, per permettere così l'elaborazione della misura (Agilent Technologies, 2021). Il campione è stato prelevato e inserito all'interno di una camera oscura fino a completo riempimento e facendo attenzione a formare una superficie visivamente il più omogenea possibile. Al di sopra è stata posizionata una superficie trasparente al fine di creare una posizione d'appoggio per lo strumento senza entrare in contatto con il campione e permettere di effettuare la misurazione. La DRA è in grado di eseguire la determinazione quantitativa del colore secondo gli standard internazionali stabiliti dalla "Commission Internationale de l'Éclairage" (CIE). Per ogni campione sono state effettuate tre misurazioni consecutive, in posizioni diverse, al fine di ottenere dei valori rappresentativi di tutta la superficie. Ogni misurazione ha restituito tre valori pari alle coordinate che descrivono la colorazione del campione secondo lo spazio di colore $L^*a^*b^*$ rispetto i tre diversi illuminanti standard: CIE A, CIE B e CIE C. Sono state ottenute pertanto in totale nove coordinate per ciascun campione. Per un ulteriore approfondimento, nel caso degli analiti provenienti dai campioni di spinaci freschi, è stata effettuata la misurazione della riflettanza, tramite una scansione con valori di lunghezze d'onda comprese tra 830 nm e 360 nm ad intervalli di 1 nm per 3 volte consecutive, ai fini della ripetibilità.

3 Discussione dei risultati

Polifenoli totali

I risultati mostrano come il valore medio di polifenoli totali (TPC) per ciascun set di campioni di spinaci, elaborato in funzione del momento del prelievo, sia compreso tra $0,466 \text{ mg/g} \pm 0,201$ per il prodotto crudo surgelato (T0) e $0,474 \text{ mg/g} \pm 0,09$ per il prodotto somministrato dopo novanta minuti dal primo servizio (TS2). Considerando la variabilità tra T0 e TS2, la concentrazione media è risultata essere $0,470 \text{ mg/g} \pm 0,005$. Ciò evidenzia come eseguire la somministrazione del pasto entro 120 minuti dalla preparazione permetta di mantenere pressoché costante la concentrazione degli analiti di interesse. Per quanto concerne le biette, si sono ottenuti analoghi risultati a quelli degli spinaci, con concentrazioni di TPC che variano da $0,356 \text{ mg/g} \pm 0,05$ (T0) a $0,349 \text{ mg/g} \pm 0,09$ (TS2). La variabilità tra il T0 e il TS2 mostra quindi una concentrazione media di $0,352 \text{ mg/g} \pm 0,005$.

Nella Figura 1, vengono riassunti i risultati per gli spinaci in modo da porre in evidenza l'andamento nel tempo del contenuto polifenolico. La concentrazione di polifenoli rimane pressoché costante, con la variazione maggiore (+3%) che si presenta tra il campione crudo surgelato (T0) e il campione prelevato dopo quindici minuti di permanenza nel contenitore Gastronorm (TG). Si verifica invece una leggera diminuzione (-1.5%) del contenuto polifenolico tra il momento del primo (TS1) e secondo servizio (TS2). Relativamente ai valori di polifenoli totali contenuti nelle biette al vapore, invece, si nota come tra il campione surgelato crudo e il primo prelievo dopo la rigenerazione (TG) la variazione risulti minima (-1%). La variazione maggiore si verifica al terzo prelievo (TS1), dove rispetto al campione precedente si ha una diminuzione del valore di TPC del 10%, per poi subire un aumento del 15% in corrispondenza dell'ultimo campionamento (TS2).

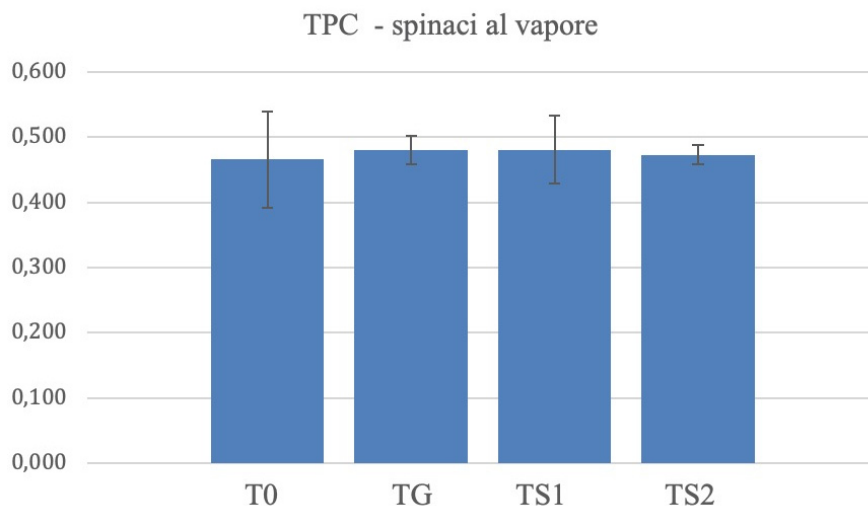


Figura 1 – Andamento del contenuto totale di polifenoli nei campioni di spinaci al vapore raggruppati per l'orario di prelievo*

* T0 = alimento surgelato, TG = fine preparazione dell'alimento, dopo 15 minuti di permanenza nei contenitori Gastronorm, TS1 = momento del primo servizio dell'alimento, TS2 = momento del secondo servizio dell'alimento a distanza di novanta minuti dal primo servizio

Attività antiossidante

La misurazione del potere antiradicalico è stata espressa mediante il parametro ARP_T (potere antiradicalico totale), derivante dall'elaborazione del dato sperimentale IC50, ossia la concentrazione di molecole antiossidanti che permette di ottenere una inibizione del 50% del radicale ABTS•.

I dati di IC50 per gli spinaci dimostrano un andamento molto variabile, sia tra i campioni prelevati in giorni diversi ma nello stesso orario, sia tra i campioni prelevati in orari diversi. Ad esempio, i campioni T0 evidenziano un'attività inibente massima di 22,1 ed una minima di 3,69, con un valore medio di $9,01 \mu\text{g/g} \pm 6,07$, mentre al momento del secondo servizio (TS2) si osserva un valore medio di $16,48 \mu\text{g/g} \pm 9,47$, con un minimo di 9,53 e un massimo di 26,18. Valutando il profilo dell'IC50 in funzione del tempo si può rilevare complessivamente un aumento, significativo del fatto che all'aumentare del tempo l'attività antiossidante generale tende a diminuire. Effettuando invece un raggruppamento rappresentativo per ogni orario di prelievo è possibile evincere come sia presente una variazione diversa dell'attività anti-radicalica a seconda della distanza temporale. Il potere anti-radicalico tende infatti a subire una prima variazione significativa del

30%, passando dal campione T0 al campione TG, mentre nei momenti successivi, in cui l'alimento è lasciato a riposo per un certo periodo fino al momento del servizio, la variazione dell'attività anti-radicalica non supera il 2 – 3% tra un prelievo e l'altro.

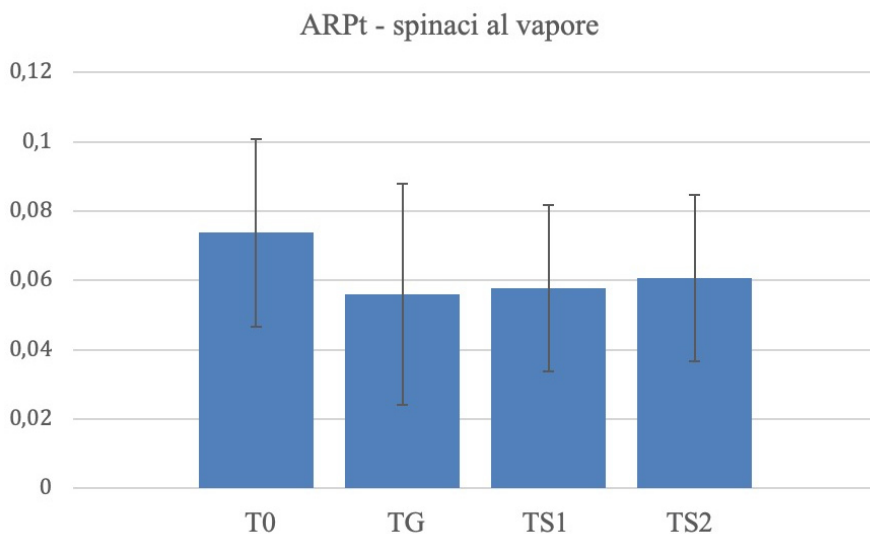


Figura 2 – Valore dell'attività anti-radicalica di campioni di spinaci al vapore, suddivisi per orario di prelievo*

* T0 = alimento surgelato, TG = fine preparazione dell'alimento, dopo 15 minuti di permanenza nei contenitori Gastronorm, TS1 = momento del primo servizio dell'alimento, TS2 = momento del secondo servizio dell'alimento a distanza di novanta minuti dal primo servizio

Nel complesso, tale comportamento può essere ricondotto al contenuto di polifenoli, la classe principale di molecole antiossidanti, che hanno un andamento pressoché costante come contenuto totale (vedi sopra).

Anche per quanto concerne i campioni di biette al vapore, si può notare una certa variabilità (seppur meno pronunciata) all'interno dei campioni prelevati in giorni diversi ma nello stesso orario. Ad esempio per i campioni T0 risulta un'attività inibente massima di 6,105 ed una minima di 13,085, con un valore medio di 9,52 g/g \pm 3,07. L'andamento nel tempo, invece, è differente rispetto agli spinaci: l'attività anti-radicalica diminuisce significativamente (vedi Figura 3), pur in presenza di un TPC che rimane simile tra T0 e TS2, come sopra riportato. Il confronto fa supporre che nel tempo si verifichi una perdita di alcune sostanze polifenoliche che

posseggono attività antiossidante rilevante, in quanto le temperature esercitano un effetto decisivo sulla degradazione di una porzione significativa delle molecole antiossidanti. Nel contempo, il trattamento termico può portare alla formazione di sostanze che non presentano attività anti-radicalica, ma sono comunque evidenziate dal saggio per la determinazione della TPC.

Per cercare di comprendere al meglio l'andamento temporale complessivo, occorre dunque analizzare i risultati ottenuti tramite HPLC per determinare il contenuto di specifiche molecole fenoliche. Analogamente ai campioni di spinaci (dati non riportati), la valutazione delle concentrazioni di singole specie polifenoliche negli estratti dei campioni di biette al vapore ha mostrato come molecole con un'attività

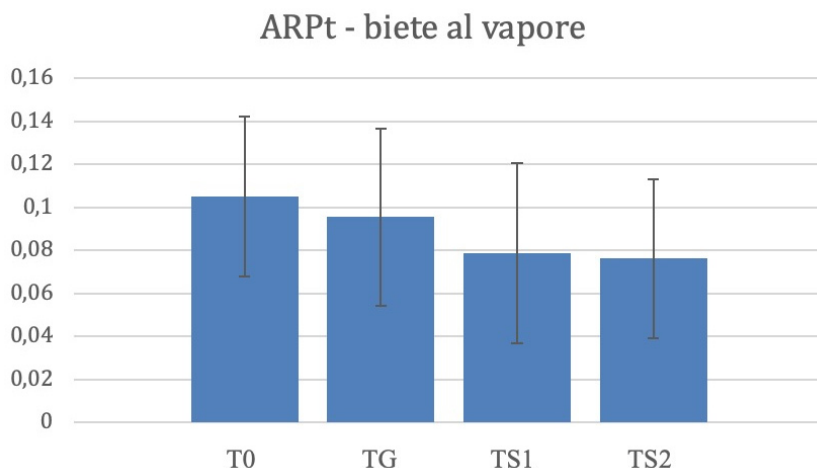


Figura 3 – Valore dell'attività anti-radicalica di campioni di biette al vapore, suddivisi per orario di prelievo*

* T0 = alimento surgelato, TG = fine preparazione dell'alimento, dopo 15 minuti di permanenza nei contenitori Gastronorm, TS1 = momento del primo servizio dell'alimento, TS2 = momento del secondo servizio dell'alimento a distanza di novanta minuti dal primo servizio

antiossidante più marcata tendano a subire una diminuzione nel tempo, il che può giustificare l'andamento decrescente dell'ARPt. Nel mentre, altre specie che presentano un'attività antiossidante meno spiccata subiscono un aumento della concentrazione e dunque contribuiscono a mantenere pressoché costante nel tempo la concentrazione polifenolica totale. Analizzando i dati ottenuti mediante l'analisi cromatografica (dati non

riportati) si può quindi ipotizzare che da un lato la concentrazione decrescente nel tempo di una molecola fortemente antiossidante, quale la quercetina, influenzi la diminuzione dell'attività anti-radicalica totale del campione e dall'altro che altre sostanze, quali l'acido ferulico e l'acido sinapico, tendano contemporaneamente a subire un aumento delle loro concentrazioni, compensando così la perdita di altre molecole antiossidanti. Il risultato complessivo di tali andamenti temporali diversi potrebbe spiegare i valori sostanzialmente costanti del TPC nei vari prelievi e, data la minore influenza esercitata da acido ferulico e acido sinapico sul valore di ARPt, la diminuzione di quest'ultimo nel tempo.

Colorimetria

I campioni che sono stati sottoposti ad estrazione sono stati analizzati tal quali così come vengono somministrati con il servizio al momento del pasto, tramite l'uso della sfera ottica DRA, collegata allo spettrofotometro. Nella Tabella 1, sono riportate tutte le coordinate misurate nel caso di un campione di spinaci a scopo dimostrativo dell'elaborazione numerica applicata. Tuttavia, si è infine scelto di proseguire utilizzando soltanto uno degli illuminanti standard, in quanto, nonostante i valori delle coordinate differiscano leggermente, la disposizione relativa tra i punti rimane costante. A dimostrazione di ciò, nella Figura 4 sono presentati i punti che mostrano la variazione delle coordinate di colore in campioni di spinaci al vapore prelevati a differenti intervalli di tempo. La scelta è così ricaduta sull'uso dell'illuminante CIE A, che rappresenta l'illuminazione data da una lampada al tungsteno alla temperatura di 2856 K.

	CIE A			CIE B			CIE C		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
1	107,9	0,74	2,809	107,8	0,316	2,753	107,773	-0,058	2,718
2	110,5	1,116	2,652	110,4	0,683	2,566	110,296	0,301	2,525
3	100,9	1,289	3,665	100,8	0,778	3,492	100,681	0,32	3,409
media	106,5 ±4,95	1,048 ±0,28	3,042 ±0,55	106,3 ±4,97	0,592 ±0,24	2,937 ±0,49	106,3 ±4,99	0,188 ±0,21	2,884 ±0,46

Tabella 1 – Elaborazione delle coordinate di colore effettuata su un campione di spinaci al vapore ottenuti a partire dal prodotto fresco

Confronto fra riflettanza e TPC

Prima di procedere con la misura della riflettanza sono state fatte delle misure su campioni di spinaci cotti a temperatura costante, ma in

tempi diversi, per poter individuare delle correlazioni con parametri noti. Ogni aliquota di campione, per un peso pari a circa 10 g, è stata sottoposta ad estrazione solido – liquido con una soluzione di tampone fosfato e su ognuna di esse è stata effettuata la determinazione dei TPC.

Una seconda aliquota dello stesso campione è stata poi sottoposta alla

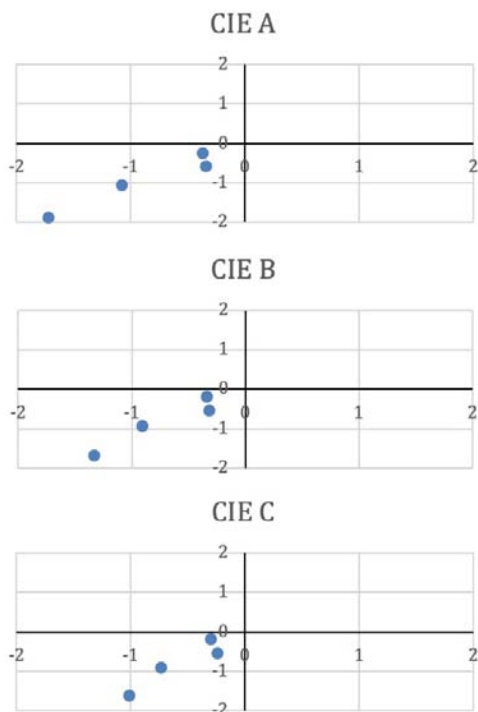


Figura 4 – Coordinate a^*b^* di una serie di campioni di spinaci al vapore misurate secondo gli illuminanti CIE A, CIE B, CIE C

misurazione con la DRA al fine di determinarne la riflettanza media. Per ogni punto sono state effettuate 3 misurazioni spostandosi in altrettante porzioni di superficie, al fine di ottenere una valutazione finale rappresentativa. Sono stati così ottenuti tre spettri di riflettanza, riassunti calcolando il valore medio dei valori corrispondenti ad ogni lunghezza d'onda, fino ad ottenere un unico valore finale corrispondente allo specifico campione.

I valori così ottenuti sono stati infine posti a confronto con le rispettive concentrazioni di TPC, ottenendo il grafico riportato in Figura 5. Il confronto mira a evidenziare come la presenza di polifenoli influenzi la

riflettanza del campione. La riflettanza è il valore che indica la capacità della superficie di riflettere la radiazione incidente, pertanto più la colorazione si avvicina al nero e minore sarà il valore di riflettanza, viceversa i valori della riflettanza che tendono verso 100, indicano una maggiore tendenza verso il bianco. In questo caso si osserva come nei campioni sottoposti a stress termico si verifichi un andamento parallelo tra la concentrazione di polifenoli e la riflettanza. Considerando ad esempio i punti tra i campioni 5 e 11, si vede come la concentrazione di polifenoli totali diminuisce sensibilmente e così avviene anche per il valore di riflettanza. La riduzione della riflettanza implica che il colore tende verso il nero, precisamente verso il verde-scuro, colore associato agli spinaci cotti per almeno 25 minuti. Analogamente, tra i campioni 4 e 10, che invece subiscono complessivamente un aumento del contenuto di polifenoli, la riflettanza risulta aumentare indicando quindi colori più chiari, nel caso specifico un verde più brillante.

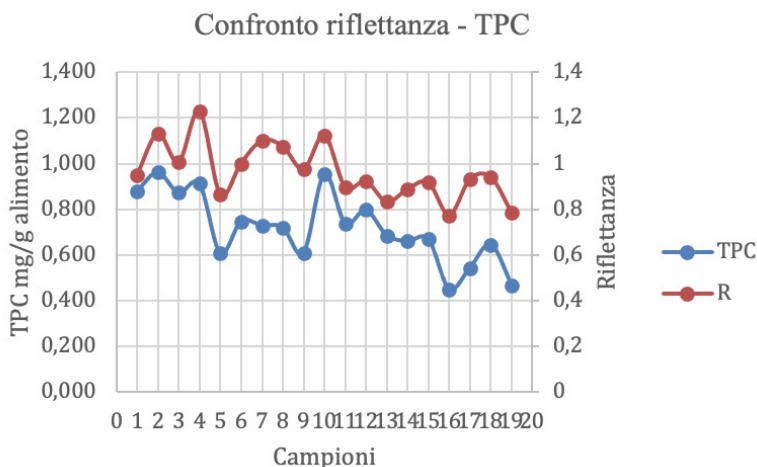


Figura 5 – Confronto del contenuto totale di polifenoli con il valore medio di riflettanza misurati su campioni di foglie di spinaci freschi, sottoposti a differente stress termico

Infatti, l'aumento della riflettanza evidenzia una maggiore diffusione della luce. I risultati possiedono un indice di correlazione pari al 76,4%, indicando una possibile relazione tra la quantità di polifenoli nel campione e la variazione della riflettanza del campione solido.

*Confronto delle coordinate $L^*a^*b^*$*

Lo spazio di colore $L^*a^*b^*$ è costituito da tre coordinate: la coordi-

nata L^* indica la luminosità del campione, mentre le coordinate a^* e b^* indicano la posizione della sua colorazione sul grafico mostrato in Figura 6, in cui a seconda dei valori di tali coordinate un punto può tendere al verde, al giallo, al blu o al rosso.

Nel caso dei prodotti a base vegetale, data la loro natura è stato analizzato l'andamento delle coordinate rispetto all'asse che tende al verde, ovvero il valore a^* . Più a^* tende ad essere negativo e più il campione si avvicina al verde. È utile pertanto effettuare un raggruppamento del valore di coordinata a^* in funzione del tempo di prelievo al fine di analizzarne l'andamento. Le misure rilevate, come illustrato nelle Figure 7 e 8, tendono a concentrarsi nel volume immediatamente vicino allo zero, evidenziando così una colorazione verde scuro intensa, che sembra essere proporzionale alla concentrazione polifenolica.

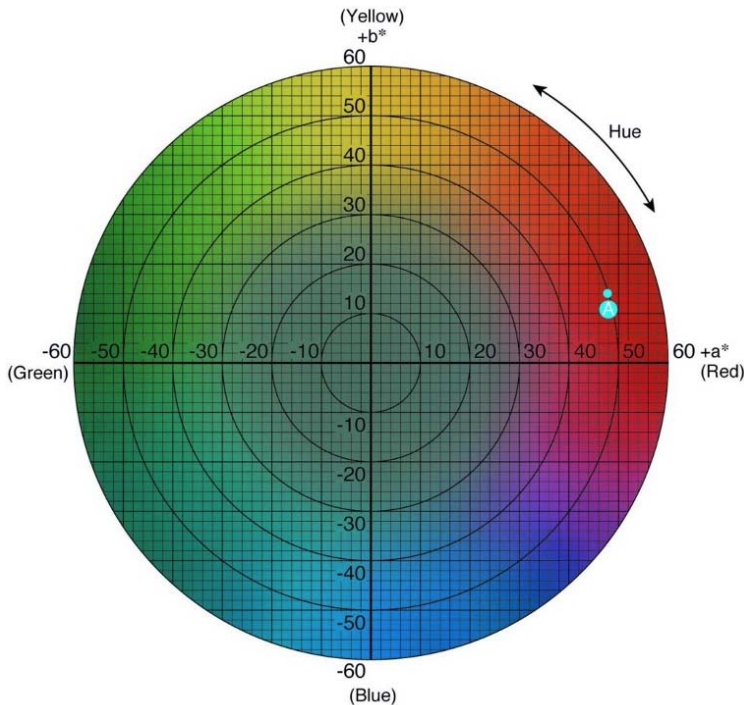


Figura 6 – Diagramma di cromaticità a^*b^*
 a^* e b^* indicano le direzioni del colore: $+a^*$ è la direzione del rosso, $-a^*$ è la direzione del verde, $+b^*$ è la direzione del giallo e $-b^*$ è la direzione del blu.
 Il centro è acromatico; quando i valori a^* e b^* aumentano e il punto si sposta dal centro, la saturazione del colore aumenta

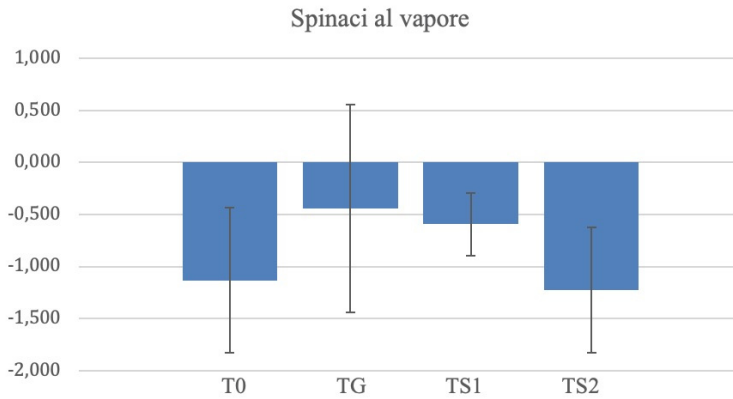


Figura 7 – Andamento della coordinata a* in funzione del tempo di prelievo per i campioni di spinaci al vapore

* T0 = alimento surgelato, TG = fine preparazione dell'alimento, dopo 15 minuti di permanenza nei contenitori Gastronorm, TS1 = momento del primo servizio dell'alimento, TS2 = momento del secondo servizio dell'alimento a distanza di novanta minuti dal primo servizio

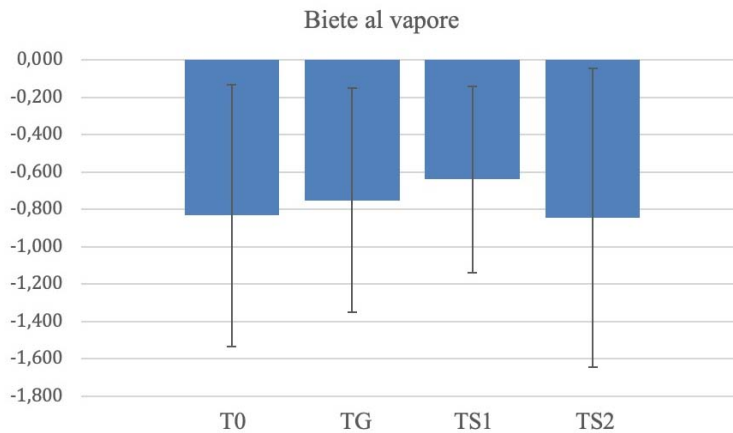


Figura 8 – Andamento della coordinata a* in funzione del tempo di prelievo per i campioni di biette al vapore

* T0 = alimento surgelato, TG = fine preparazione dell'alimento, dopo 15 minuti di permanenza nei contenitori Gastronorm, TS1 = momento del primo servizio dell'alimento, TS2 = momento del secondo servizio dell'alimento a distanza di novanta minuti dal primo servizio

4 Conclusioni

I dati ottenuti hanno evidenziato come sia possibile mantenere una elevata concentrazione di polifenoli tramite una riduzione del tempo intercorrente tra la preparazione e la somministrazione degli alimenti, il che comporta sicuramente effetti positivi, in particolare per quei soggetti fragili che, in condizioni di lungodegenza, sono esposti ripetutamente e per periodi più o meno lunghi ad assumere pasti che, pur soddisfacendo il fabbisogno energetico, scarseggiano in sostanze di tipo protettivo, quali ad esempio gli antiossidanti.

Relativamente alla misurazione del colore, è possibile affermare come, nel caso delle matrici vegetali indagate, sussista una correlazione tra l'intensità della colorazione e il contenuto fenolico. Risulta pertanto confermata l'ipotesi del monitoraggio del colore quale possibile alternativa analitica – rapida, efficiente, *cost saving*, priva di manipolazioni del campione – per la valutazione nel tempo della presenza di *marker* antiossidanti nei pasti erogati nelle mense ospedaliere, in ottemperanza ai principi guida dell'OMS e della FAO per una dieta sana e sostenibile e alle linee guida del Ministero della Salute per la ristorazione collettiva.

Va però sottolineato come ulteriori conoscenze sul tipo di correlazione che lega molecole *marker* e relativa colorazione rappresentino la premessa necessaria per un pieno e proficuo utilizzo di tali nuove metodologie e come siano opportune ulteriori indagini su un più ampio spettro di alimenti, al fine di poter avere un numero di campioni statisticamente significativo.

Questa indagine, infine, può essere considerata un contributo preliminare ad una nuova fase della ricerca che si concentrerà su un progetto per sistemi portatili con risposte analitiche immediate, da sviluppare nei luoghi di ristorazione collettiva e nel processo di valutazione per la donazione di cibo, compresa la valutazione della durata di conservazione residua.

Ringraziamenti

Si ringrazia il dott. Andrea Pernarcic della “Struttura Complessa Igiene degli Alimenti e della Nutrizione” dell'Area Giuliana di ASUGI, che ha reso possibile il prelievo dei campioni presso le mense ospedaliere.

Bibliografia

- AGILENT TECHNOLOGIES (2021). Diffuse Reflectance Accessories (DRAs). https://www.agilent.com/cs/library/flyers/public/5991-1717EN_PromoFlyer_UV_DRA.pdf.
- CEDERHOLM, T., BARAZZONI, R., AUSTIN, P., BALLMER, P., BIOLO, G., BIRSCHOFF, S.C., COMPHER, C., CORREIA, I., HIGASHIGUCHI, T., HOLST, M., JENSEN, G.L., MALONE, A., MUSCARITOLI, M., NYULASI, I., PIRLICH, M., ROTHENBERG, E., SCHINDLER, K., SCHNEIDER, S.M., DE VAN DER SCHUEREN, M.A.E., SINGER, P. (2017). ESPEN guidelines on definitions and terminology of clinical nutrition. *Clinical Nutrition*, 36(1), 49-64. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.09.004>.
- CORKINS, M.R., GUENTER, P., DIMARIA-GHALILI, R.A., JENSEN, G.L., MALONE, A., MILLER, S., PATEL, V., PLOGSTED, S., RESNICK, H.E., & THE AMERICAN SOCIETY FOR PARENTERAL AND ENTERAL NUTRITION (2014). Malnutrition Diagnoses in Hospitalized Patients. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 38(2), 186-195. <https://doi.org/10.1177/0148607113512154>.
- DI RENZO, L., COLICA, C., CARRARO, A., CENCI GOGA, B., MARSELLA, L.T., BOTTA, R., DE LORENZO, A. (2015). Food safety and nutritional quality for the prevention of non communicable diseases: the Nutrient, hazard Analysis and Critical Control Point process (NACCP). *Journal of translational medicine*, 13, 1-13.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; WORLD HEALTH ORGANIZATION (2019). Sustainable healthy diets: guiding principles. Rome (IT). ISBN 978-92-5-131875-1.
- FUSI, A., GUIDETTI, R., AZAPAGIC, A. (2016). Evaluation of environmental impacts in the catering sector: the case of pasta. *Journal of Cleaner Production*, 132, 146-160.
- KANG, M.C., KIM, J.H., RYU, S.-W., MOON, J.Y., PARK, J.H., PARK, J.K., PARK, J.H., BAIK, H.-W., SEO, J.-M., SON, M.-W., SONG, G.A., SHIN, D.W., SHIN, Y.M., AHN, H., YANG, H.-K., YU, H.C., YUN, I.J., LEE, J. G., LEE, J.M., HONG, S.-K. (2017). Prevalence of Malnutrition in Hospitalized Patients: A Multicenter Cross-sectional Study. *Journal of Korean Medical Science*, 33(2). <https://doi.org/10.3346/jkms.2018.33.e10>.
- MINISTERO DELLA SALUTE (2016). Valutazione delle criticità nazionali in ambito nutrizionale e strategie d'intervento 2016-2019. https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_3108_allegato.pdf.

- MINISTERO DELLA SALUTE (2018). Linee di indirizzo nazionale per la ristorazione collettiva. <https://www.salute.gov.it/portale/nutrizione/dettaglioContenutiNutrizione.jsp?lingua=italiano&id=1648&area=nutrizione&menu=ristorazione>.
- MINISTERO DELLA SALUTE (2022). I principi del Servizio sanitario nazionale. <https://www.salute.gov.it/portale/lea/dettaglioContenutiLea.jsp?lingua=italiano&id=5073&area=Lea&menu=vuotoU>.
- RE, R., PELLEGRINI, N., PROTEGGENTE, A., PANNALA, A., YANG, M., RICE-EVANS, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- SINGLETON, V.L., ORTHOFER, R., LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.
- UNITED NATIONS (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development | Department of Economic and Social Affairs. <https://sdgs.un.org/2030agenda>.
- VALENTA, J. (2014). Determination of absolute quantum yields of luminescing nanomaterials over a broad spectral range: from the integrating sphere theory to the correct methodology. *Nanoscience Methods*, 3(1), 11-27.

Wastes and by-products of the olive oil supply chain: state of art of treatment technologies and eco-efficiency assessment tools

Eleonora Recupero
University of Palermo
Giuseppe Saija
University of Messina
Giovanni Mondello
University of Messina

ABSTRACT

Due to its high environmental impacts, the agrifood sector is the subject of policy action for promoting environmental sustainability. Among the agrifood sector, olive oil production is one of the most important compartments in which there is an increasing interest in the search for new strategies and technologies toward an ecological transition. This is because the olive oil supply chain generates a huge amount of waste and by-products that can cause several significant environmental impacts, if not properly managed. Despite this, there is a lack of studies in the literature that deal simultaneously with both aspects related to the treatment technologies adopted and the evaluation of their eco-efficiency. Therefore, the present study aims to carry out an exploratory analysis of state of the art regarding the technologies and strategies used in the olive oil supply chain for the treatment of by-products and wastes, as well as the tools applied for assessing their eco-efficiency, through a preliminary bibliometric analysis of the scientific literature. The results allow us to identify the trends related to the strategies employed in the olive oil sector from an environmental sustainability and circular economy point of view.

KEYWORDS: olive oil; by-product; technologies; waste management; eco-efficiency; circular economy.

1 Introduction

Olive oil production from Mediterranean countries accounts for about 95% of the world's entire production (Fondazione Qualivita, Filiera olio DOP IGP, 2020). Among EU Member States, Spain exported 301,400 tonnes of olive oil to non-EU Member States in 2018 (52% of extra-EU exports of olive oil in weight). This makes Spain the largest EU exporter of

olive oil to the rest of the world, followed by Italy (191,000 tonnes, 33%), Portugal (56,000 tonnes, 10%) and Greece (20,600 tonnes, 4%). These four countries accounted for 99% of all extra-EU exports of olive oil in 2018. (Eurostat, 2023). The economic importance of olive oil is highly valued worldwide. The global olive oil production in the world accounted for 3,373,881 tonnes in 2020, of which about 73.1% is produced in Southern Europe, 12.9% in Asia, 12.4% in Africa, 1.2% in Americas, and 0.3% in Oceania, (FaoStat, 2020). Many studies (e.g., Carluccio et al., 2003; Dini et al., 2020; Nunes et al., 2022) highlight the beneficial, anti-inflammatory, and antioxidant properties of the compounds contained in olive oil, even though the composition of the product can change depending on several external factors (cultivars, growing conditions, and extraction processes). Its uniqueness is due to the abundance of fatty acids, but also the occurrence of many bioactive molecules, like hydrophilic phenols, phytosterols, tocopherols, and carotenes that provide several functional properties as well as a long storage time due to their high oxidative stability (Jimenez-Lopez et al., 2020: 2-31). The anticancer properties of olive oil seem correlated with the antioxidant activity of phenolic and polyphenolic compounds that are capable of scavenging free radicals and reactive oxygen species. Antioxidant and anti-atherogenic effects of olive oil polyphenols, like oleuropein and hydroxytyrosol, have been vastly confirmed in the literature (e.g., Edgcombe et al., 2000: 105-109; Frankle, 1976: 2996-3002; Gorzynik-Debicka et al., 2018: 2-13). Despite its beneficial properties, olive oil has several adverse environmental effects (Ncube et al., 2022: 1-21). For example, olive oil extraction generates huge amounts of waste that can have a great impact on the terrestrial and water environment due to their high phytotoxicity. (Paredes et al., 1987: 1557-1564), on aquatic ecosystems (DellaGreca et al., 2001: 352-359) and even in the atmosphere (Rana et al., 2003: 49-58). However, many treatment techniques and technologies have been proposed in the literature; many from the point of view of even just laboratory-scale research (Komnitsas & Zaharaki, 2012, 1-8; Pampuri et al., 2021, 1-23), and others also transposed to industrial scale (Amaral-Silva et al., 2017, 1336-1344; Nieto et al., 2009, 2017-202). Unfortunately, among these studies, few authors highlight aspects of environmental sustainability of these treatment practices, which many times cause the production of other by-products and treatment wastes, that require special attention. For example, different studies evaluate the treatment efficiencies of advanced oxidation systems with the Fenton reaction on olive oil wastewater (e.g., Khoufi et al., 2006, 2007-2016; Mehdaoui et al., 2022, 20450-20468); the Fenton reagent, made up of Fe^{2+} ions and hydrogen peroxide H_2O_2 , constitutes a source of OH radicals with high oxidizing potential but also produces a sludge rich in the catalyst and Fe^{3+} precipitated by the

reaction which could be recovered but rarely recovered (Domingues et al., 2018, 1-17). In this regard, the ecological transition of the olive supply chain and, in particular, of the related waste treatment technologies is made even more challenging due to the lack of studies that focus on the evaluation of eco-efficiency. Although in literature there is not a common definition of eco-efficiency, the existing ones capture different aspects (Koskela & Vehmas, 2012): i) the first is related to the statement of “more from less”, by which eco-efficiency is seen as a solution for producing more physical output from less use of natural resources; ii) the second aspect is related to the “ratio between economic output and environmental output”, and the focus is either on productivity (i.e., producing more value-added with less environmental impacts) or on intensity (i.e., decreasing the environmental intensity of the economic performance); and iii) the last which describes eco-efficiency as “*management strategy*” in which the basic idea is that a company simultaneously improves its economic and environmental performance. However, the main aspect is that eco-efficiency may be considered as a ratio between the reduction of environmental impacts and the increment of the value of production (Huppel & Ishikawa, 2005, 2-4). The underlying idea is that by creating “more value with less impact” through eco-efficiency, society can move towards using resources more sustainably (World Business Council for Sustainable Development, 2000) (Figge & Thorpe, 2023, 1-11). In this regard, a potential solution to achieve and increase eco-efficiency may be represented by the application of models and strategies based on the concept of Circular Economy (Figge & Thorpe, 2023, 1-11). According to the Ellen MacArthur Foundation (Ellen MacArthur Foundation, 2013a, p. 7), the circular economy represents “an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces the ‘end-of-life’ concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair reuse, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems, and, within this, business models. In other words, the circular economy, is an alternative pathway to eco-efficiency, although scholars often, combine this with operational eco-efficiency (Bocken et al., 2016: 308-320; Geissdoerfer et al., 2020: 1-18). In this way, at least in theory, eco-efficiency and circular economy may be complementary, with the common goal of reducing resource use overall through technological innovation.

This study aims to carry out a bibliometric analysis of the scientific literature aimed at preliminarily exploring the state-of-the-art of waste and by-product treatment technologies in the olive oil production processes, also focusing on their valorisation strategies and on how eco-efficiency has been explored in this area. The results are also evaluated from a circular

economy and environmental sustainability perspective, considering the potential synergies resulting from them.

After this introductory section, the structure of the paper is organized as follows:

- methodology section, which presents a detailed description of the literature search method applied.
- results and discussion section, in which the main results of the bibliometric study conducted are highlighted.
- conclusions section, in which the main results of the analysis are summarized, and further future research is proposed.

2 Methodology

The steps of the method pursued were identified through the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Moher et al., 2014: 1-8). The first step of the method is through the identification of the research question. In particular, to satisfy the aim of this study, two main research questions have been defined: i) what is the state of the art of treatment technologies used for olive oil production by-products and wastes aimed at their valorisation?; and ii) how many of these technologies do the literature associate the concept of eco-efficiency? The literature search has been carried out through Scopus and Web of Sciences (WoS) databases for which two queries, in line with the research questions, have been structured. The research was conducted without defining any specific time frame and was completed in September 2023. In particular, the first query (query 1) was structured as follows: (“olive oil”) AND (“by*product*” OR “olive mill” OR “mill waste*”) AND (“treatment technolog*” OR “waste* treatment*”); it aims to highlight articles in the literature that deal with by-products and wastes treatment technologies in the olive oil sector. The second query (query 2) was structured as follows: (“olive oil”) AND (“by*product*” OR “olive mill” OR “mill waste*”) AND (“eco*efficienc*” OR “environmental impact*” OR “resource management” OR “environmental sustainability”). Query 2 aims to investigate aspects related to the eco-efficiency concepts in the context of waste and by-products produced in the olive supply chain.

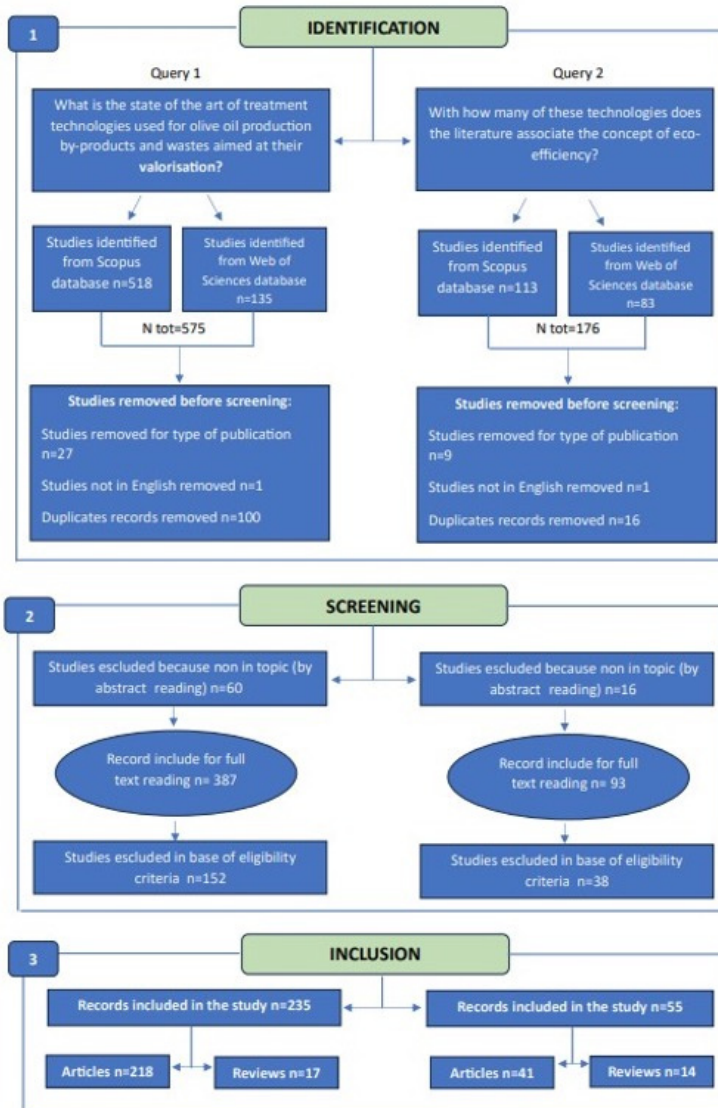


Figure 1 – Search strategy based on PRISMA protocol

As reported in Figure 1, the samples initially identified were n=575 for query 1 and n=176 for query 2. After duplicate removal, the first screening was conducted using databases' filters: a) selected language=English; b) selected document types=articles and reviews. Next, the second screening

was conducted through abstract reading to select only those articles that were directly related to the investigated topics. Finally, the third screening stage involved more specific eligibility criteria to be investigated through full-text reading:

- vfor query 1, only studies in which olive oil by-product and waste treatment technologies and their valorisation were investigated.
- for query 2, only studies in which the assessment of eco-efficiency in the olive oil production sector was proposed, and whether environmental sustainability and circular economy strategies were presented, if any.

Following the sample design phase, n=235 final articles for the first query and n=55 final articles for the second query were identified. Finally, bibliometric data were collected and analysed on Excel workbooks and VOSviewer. In particular, bibliometric analysis is useful for deciphering and mapping the cumulative scientific knowledge and well-established fields by making sense of large volumes of unstructured data in rigorous ways. The aim of the bibliometric analysis is thus to summarise these large quantities of bibliometric data to present the state of the intellectual structure and emerging trends of a research topic (Donthu et al., 2021, 1-12). In this paper for both queries, the bibliometric analysis has been carried out focusing on the annual evolution of publications, the journals in which the selected articles are published, the most cited authors, and the geographical areas of the authors' respective affiliations. In addition, the main subject's areas of the journals, as well as the author's keywords were evaluated through a network analysis. The network metrics of bibliometric analysis allow highlighting the interaction and links between research constituents (e.g., author's keywords, subject areas, affiliations, countries, etc), which may not necessarily be reflected through publications or citations only (Donthu et al., 2021, 1-12). The network analysis has been performed using the VOSviewer software, a freely available computer program that was developed for constructing and viewing bibliometric maps. The functionality of VOSviewer is especially useful for a graphical representation of large bibliometric maps in an easy-to-interpret way (Van Eck & Waltman, 2010, 1-16).

3 Results and Discussion

In this section results and discussion related to the bibliometric analysis of the samples obtained from query 1 and query 2 are reported focusing on years of publication, citations, journals of publication, subject areas, geographical area, and keywords.

3.1 Years of Publication

As shown in Figure 2 which reports the years of publication of the samples, it can be observed that only after the year 2003 there been an increasing interest by the scientific community in analysing the treatment technologies of waste and by-products of olive oil production to achieve their convenient valorisation. Certainly, European environmental policies, that have found fulfillment in the European Green Deal (European Parliament- actuality section, 2020), have greatly influenced the interest of the scientific community in this regard. At the same time, the studies conducted on the eco-efficiency of these treatment technologies, even if slowly and only recently, are also registering an increasing interest in the scientific community.

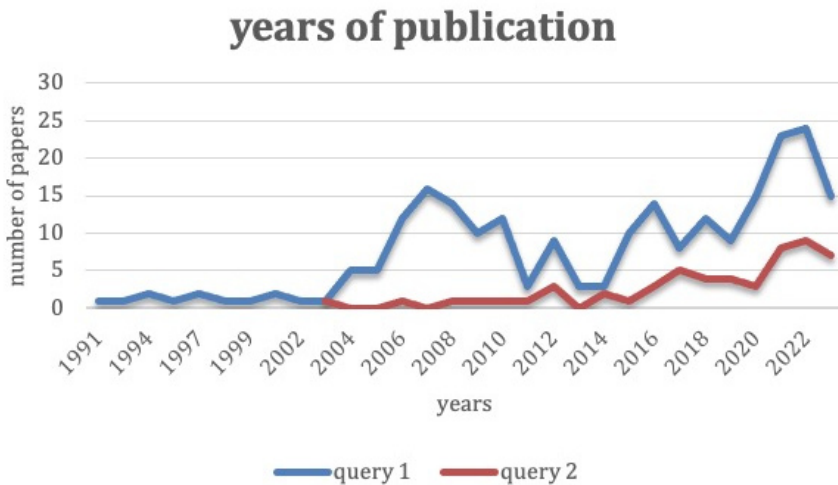


Figure 2 – Publication years of the articles contained in the samples of query 1 and query 2

3.2 Citations of articles

The results of the most cited articles in the two respective samples under analysis are shown in Figures 3 and 4. For simplicity, given the large number of articles in the samples, the analysis is focused on articles having a citation index greater than 100 in query 1, and on articles having a citation index greater than 50 in query 2.

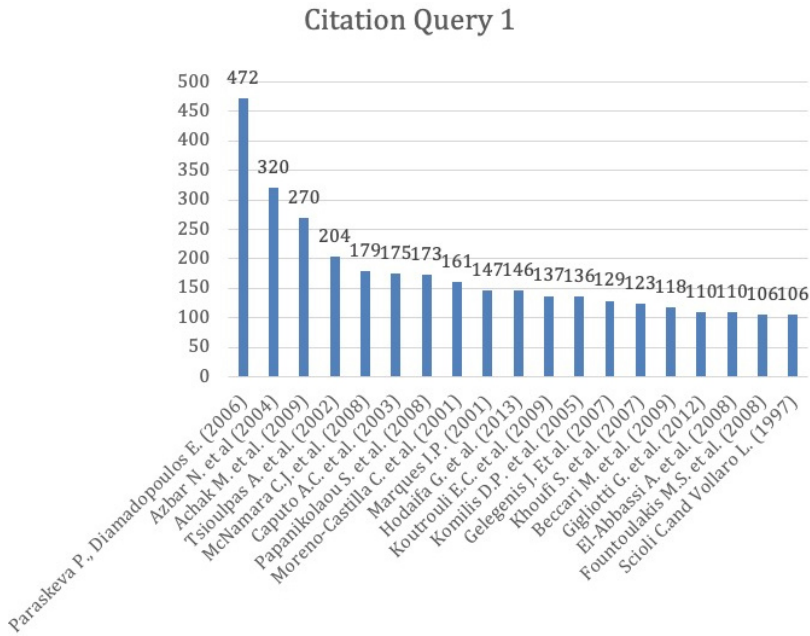


Figure 3 – Number of citations of articles having a citation index greater than 100 in query 1

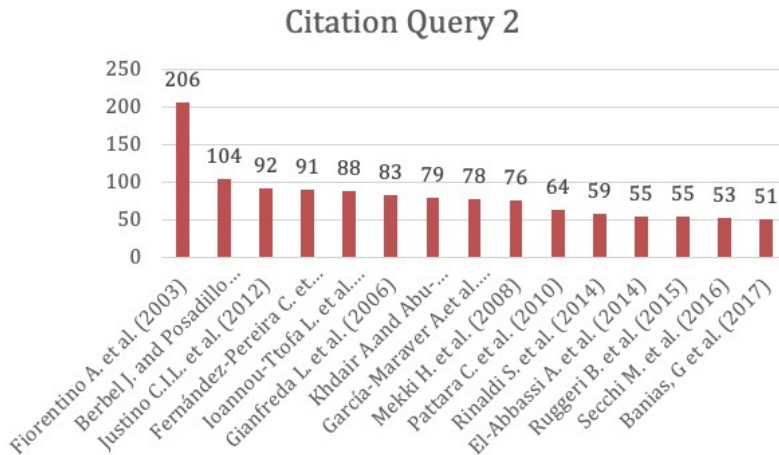


Figure 4 – Number of citations of articles having a citation index greater than 50 in query 2

The most cited article in the research query on olive oil by-product treatment technologies is that of Paraskeva and Diamadopoulos (2006). The authors proposed a comprehensive review expressing the advantages, disadvantages, and abatement yields (of biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), and suspended solids) of olive oil mill wastewater treatment technologies distinguish them by chemical-physical treatments and a combination thereof (biological treatments, oxidation and advanced oxidation processes (AOPs), combined processes, composting). The second most cited one belongs to Azbar et al. (2004), who proposed a review to identify the best management systems for solid wastes, consisting of olive pulp, and pits left over after pressing the fruits, as well as for liquid wastes, consisting of vegetable and additional water, produced by the traditional system, two-stage extraction system, and three-stage extraction system. In particular, the authors focused the analysis on waste valorisation through energy recovery from olive stones, treatment of wastewater to be used for fertigation, and sludge composting or animal fodder manufacturing. Both articles turned out to be excellent reference points for a comprehensive overview of olive oil production, its production of waste and by-products, and suitable and known technologies for their treatment from a chemical-physical-biological point of view and respective valorisation or recovery (energy or biomass). On the other hand, the study proposed by Fiorentino et al. (2003) is the most cited article in query 2. The objective of the study was to determine the toxicity of the whole olive oil mill wastewater (OMW) matrix and its different fractions obtained by microfiltration (MF), ultrafiltration, nanofiltration, and reverse osmosis to test the toxicity on aquatic organisms from different trophic levels. The second most cited article in query 2 (Berbel & Posadillo, 2018: 1-9) is a further review of the valorisation of olive by-products (olive pomace, leaves, stone, and olive tree pruning biomass) within the context of bioeconomy¹ strategy, trying to give more weight to the higher levels of the bioeconomy pyramid, e.g., the use of these by-products for animal feed that can be improved by reducing the content of saturated fatty acids (SFA) and increasing the amount of polyunsaturated fatty acids considered beneficial in response to their use. The authors also pointed out that this strategy makes the food healthier for humans and simultaneously reduces the feeding costs and environmental impact of livestock.

The results here permit to highlight how the scientific community

¹ The bioeconomy, often referred to as 'biobased economy', encompasses the production of biobased resources and their conversion into food, feed, bioenergy and biobased materials. A biobased value chain includes the primary production of biobased resources, their conversion to higher-value goods via processing and commercialisation on the market. (Lewandowski, 2018, 1-358).

has given greater resonance to exhaustive studies and reviews containing important insights for further research about olive oil by-products/waste management and valorisation from an environmental sustainability perspective.

3.3 Journals of publication and subject area

The analysis of journals showed that 7% of the sample in query 1 is published in *Bioresource Technology*, 6% in *Waste Management*, and 5% in the *Journal of Environmental Management*, as can be seen in Figure 5. The major journals that have emerged are well known for their attention to the discussion of information on solid waste generation, characterization, minimization, collection, separation, treatment, and disposal, as well as manuscripts that address waste management policy, education, and economic and environmental assessments.

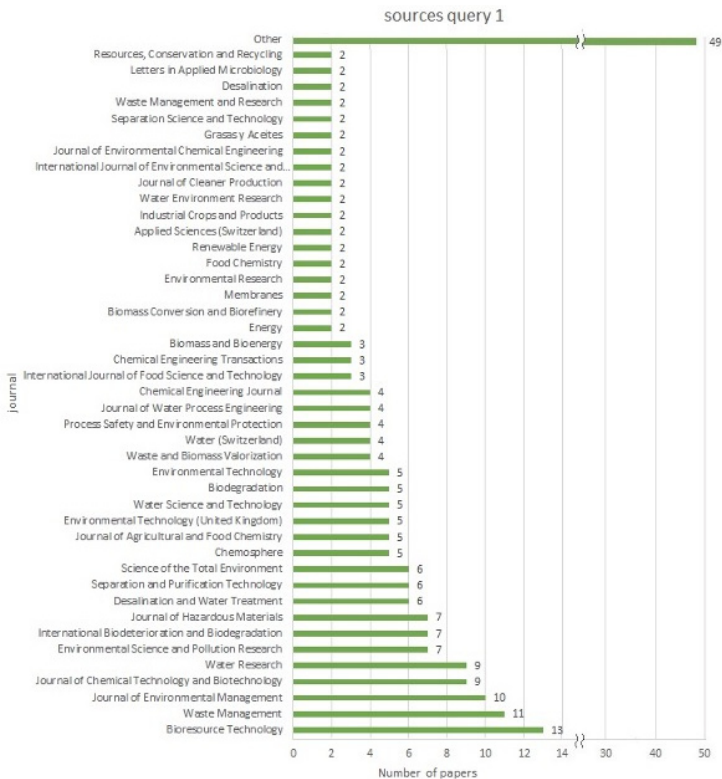


Figure 5 – Waterfall graph representation of the main journals found in query 1 (all journals having only one publication are included in “other”)

For the sample obtained from query 2, 8% was published by the Journal of Cleaner Production, and 5% by Science of the Total Environment and Sustainability (Switzerland) (figure 6). It is immediately observed that the main journals in Figure 5 are associated with journals whose goals are environmental protection, resource recovery from waste, and clean production.

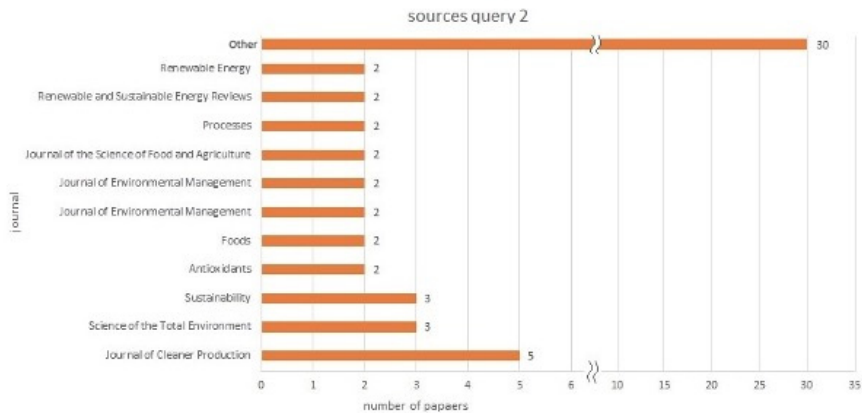


Figure 6 – Waterfall chart representation of the main journals found in query 2 (all journals having only one publication are included in “other”)

The analysis of the subject's areas of the most cited journals in query 1 is reported in Figure 7. The main subject areas are Physical Sciences, Environmental Science, and Chemical Engineering, in line with the research topic, which is focused on treatment technologies and management systems for waste and by-product valorisation. However, very interesting is the yellow cluster showing the correlation between Environmental Sciences, Social Sciences, Economics, Econometrics, and Finance, confirming that sustainability is touched on all three dimensions, although the environmental one is more frequent. The green cluster highlights the correlation between Chemistry, Life Sciences, Agricultural and Biological Sciences and Biochemistry confirming the fact that many valorisation systems are related to reuse in agriculture and chemical characterization of biomass, as well as to studies of toxicology and reuse of valuable substances (e.g., antioxidants to be used in drugs formulation). Also interesting are the correlations of Physical Sciences and Environmental Sciences with Medicine, Energy, and Health Sciences, which are included in the blue cluster, and are mainly related to the goals of valorisation (energy and therapeutic).

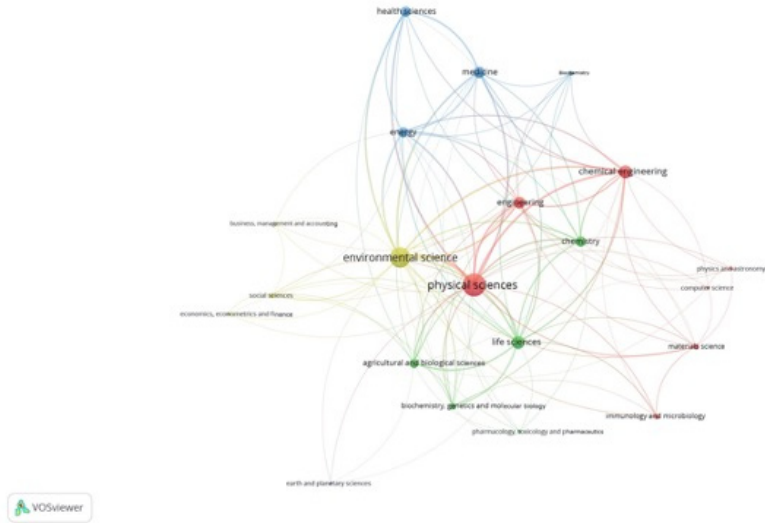


Figure 7 – Network analysis of the subject’s areas related to query 1 (elaboration through VOSviewer software)

Similarly, the correlation between the subject’s areas of the main journals in query 2 is observed, which again sees the subject’s areas of Physical Sciences and Environmental Sciences as the main ones but Social Sciences and Life Sciences are also bordered by these, confirming that in this second research the topics are not only focused on environmental sustainability, but also the on social sustainability (figure 8). Economic, Econometrics Finance fall in the same cluster as Environmental Sciences and Social Sciences but are less frequent in the sample.

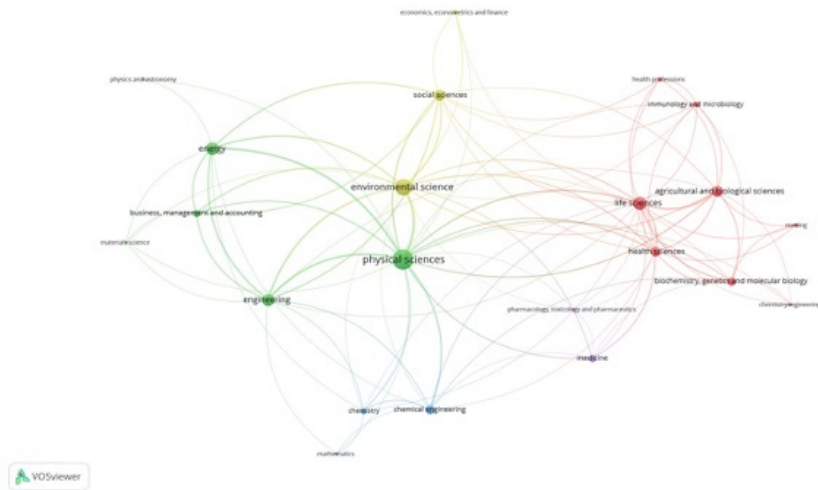


Figure 8 – A network analysis of the subject’s areas of the first search (related to query 2 (elaboration through VOSviewer software))

Similarly, we observe that Physical Sciences is included in the cluster of Engineering and Energy confirming the fact that the main trim of mill waste treatment technologies is mainly associated with energy return and the system of engineering strategies and technologies useful for energy enhancement, as suggested by the label of “Engineering” side by side with “Energy”. The red cluster with Life Sciences as the main subject areas also includes Health Sciences, Agricultural and Biological Sciences, and Biochemistry, Genetics, and Molecular Biology confirming that the main topics related to sustainability and efficiency include health and biochemical and biological research to improve human health.

3.4 Geographical areas

The analysis of the countries related to the authors’ affiliation (figure 9) shows that trends related to geographical area are in line with the world’s leading producers of olive oil, represented by Mediterranean countries. Indeed, for query 1 the results point out that Spain is the most representative country (21% of the total sample of articles), followed by Italy with 16%, and Greece with 12%.

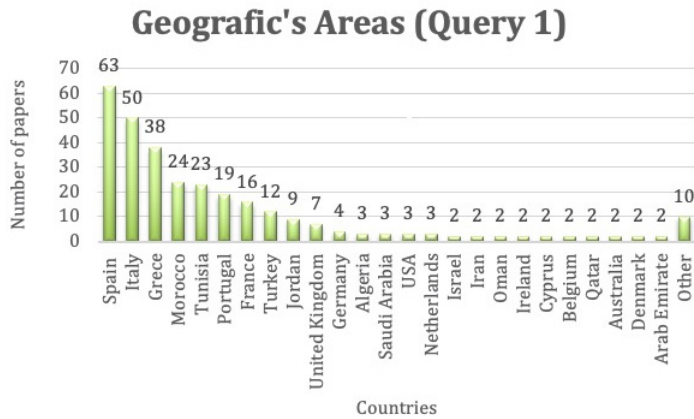


Figure 9 – Distribution of geographical areas related to authors' affiliations for query 1 (all geographic areas with a frequency of 1 are included in "other")

On the other hand, for query 2, results highlight that Italy is the most recurring country (30%), followed by Spain (17%), and Portugal (7%) (figure 10). This also provides an overview of which countries may be mainly focused on the concept of eco-efficiency in the context of the olive oil sector, also investigating the most suitable technologies and tools to increase their sustainability and to achieve the circular economy principles. In this context, Italy is keeping up very well on the circular economy front as well as on the waste management criteria in the olive sector (European Commission, 2022).

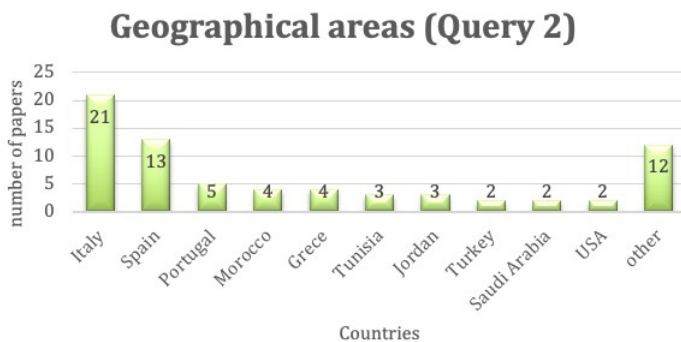


Figure 10 – Distribution of geographical areas related to authors' affiliations for query 2 (all geographic areas with a frequency of 1 are included in "other")

3.5 Author keywords analysis

The results related to the authors' keywords, obtained through a network analysis, allowed the identification of the main areas of investigation related to the research's object as well as the selection of the main paths on these issues, by the scientific community. Regarding query 1, as reported in Figure 11, it can be observed that the most adopted keywords are represented by “olive oil mill waste”, “olive mill wastewaters”, “physical-chemical treatment”, “value-added compound”, and “anaerobic digestion”.

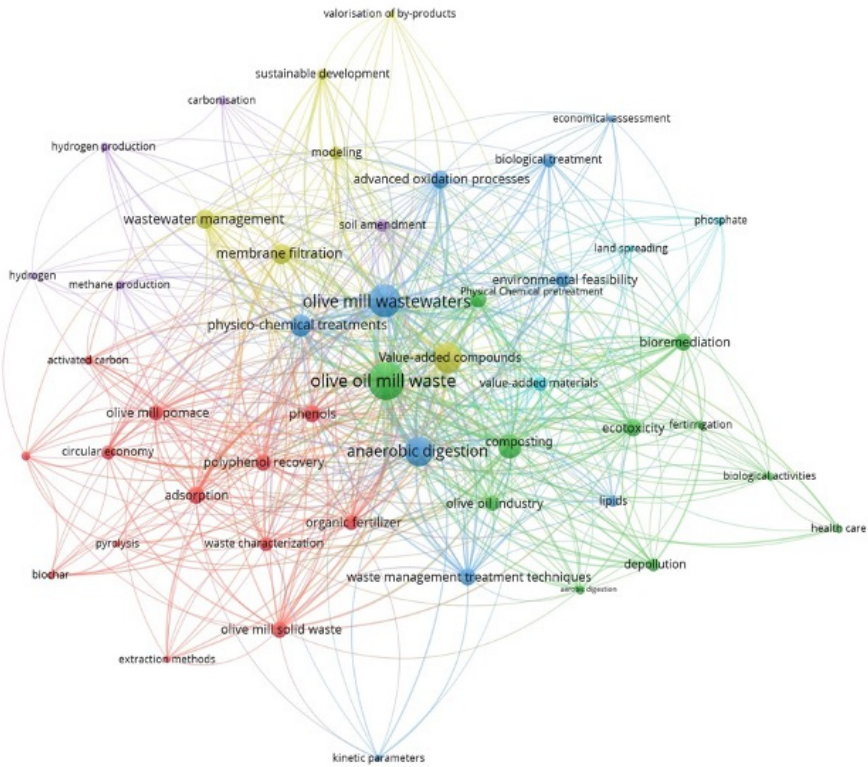


Figure 11 – Visual network mapping representation of VOSviewer related to the authors' keywords for query 1

Olive mill wastes and their treatment technologies are the main topic of the investigated articles; in particular, the main focus of the studies is on OMW and its treatment system. This is because the OMW is obtained in larger quantities by the olive oil production chain (Berbel &

Posadillo, 2018, 1-9) and there are many studies focused on studying the environmental impacts associated with its improper disposal (Koutsos et al., 2018: 942-953). The main treatment technologies for mill by-products and wastes are anaerobic digestion (Donner et al., 2022), chemical-physical treatments (including sedimentation, flocculation/agglomeration, centrifugation, electrocoagulation, and electrochemical treatments), advanced oxidation processes, adsorption, membrane filtration, and composting. While from a point of view, the main by-product valorisation routes are observed: recovery of high value-added compounds, recovery of polyphenolic substances to be used in the production of cosmetics or the pharmaceutical industry, production of activated carbon and energy recovery, compost, fertilizers, soil conditioners, fertigation or also in the building construction industry as substances to improve the quality and strength of materials. Table 1 highlights some examples of the most commonly encountered valorisation technologies in the analysis of query 1, with their respective references.

Reference	Article title	Valorisation systems
(Azbar et al., 2008) (Caputo et al., 2003)	“Enhancement of biogas production from olive mill effluent (OME) by co-digestion”; “Disposal of by-products in the olive oil industry: waste-to-energy solutions”	Energy recovery through biogas production from anaerobic treatments of crusher waste, especially OMW
(Albuquerque et al., 2006) (Galliou et al., 2018)	“Composting of a solid olive-mill by-product (“alperujo”) and the potential of the resulting compost for cultivating pepper under commercial conditions”. “Production of organic fertilizer from olive mill wastewater by combining solar greenhouse drying and composting”	Processing of olive mill waste into fertilizer, soil conditioner compost, and other agricultural uses
(Carrara et al., 2021) - (Nunes et al., 2022):	“Potential of Olive Oil Mill Wastewater as a Source of Polyphenols for the Treatment of Skin Disorders: A Review” “Potential therapeutic of olive oil industry by-products in skin health: a review”	Recovery of phenols polyphenols and other useful compounds in the cosmetics industry

(Sicari et al., 2023)	“Comparison of Physicochemical Characteristics and Bioactivity of Olive Oil Mill Wastewaters from Traditional and Water-Saving ARA-Controlled Three-Phase Decanter”	Recovery of phenols polyphenols and other compounds useful for their therapeutic action in the pharmaceutical industry
(Barbera, 2020) (Sar et al., 2020)	“Reuse of Food Waste and Wastewater as a Source of Polyphenolic Compounds to Use as Food Additives” “New Insights on Protein Recovery from Olive Oil Mill Wastewater through Bioconversion with Edible Filamentous Fungi”	Recovery of phenols polyphenols and other useful compounds to add them as additives in foods to improve their quality
(Khwaldia et al., 2022)	“Olive byproducts and their bioactive compounds as a valuable source for food packaging applications”	Recovery of useful compounds for the production of bioplastics used in food packaging
(Fernández-Pereira et al., 2011) (Mekki et al., 2008)	“Application of biomass gasification fly ash for brick manufacturing” “Valorization of olive mill wastewater by its incorporation in building bricks”	Use of solid and liquid waste to implement the quality and strength of construction materials

Table 1 – Summary of the main technologies applied for the valorisation of by-products and mill waste resulting from the investigated articles in query 1

Also very interesting is the presence of the keywords “value-added compounds” and “value-added materials” which express the weight that many articles gave to the valorisation of by-products through the extraction and reuse of useful compounds, such as phenols and polyphenols mainly, but also many nutritional contents, that are present in the waste. In addition, focusing the attention on the cluster of keywords that are associated with the concept of circular economy and environmental sustainability, the results show that keywords such as “circular economy”, “ecotoxicity”, “environmental feasibility”, and “sustainable development” have emerged and are carriers of strong interest from the scientific community on these concepts and related issues or opportunities. This is an excellent indication of the ecological thrust toward which research is moving for olive mill waste treatment technologies and olive oil production systems. In particular, it is observed that “circular economy” is mainly associated with the cluster of keywords on the recovery of phenolic and polyphenolic compounds (e.g., Bonetti et al., 2016: 73-86; Camacho et al., 2021: 1-17; Cifuentes-Cabezas

et al., 2022:1-15) and to the thermal treatment of solid crusher by-products (i.e., leaves, pruning waste, and fruit stones) that have a high thermal capacity for energy recovery (Rincón et al., 2009: 2566-2573), for the production of activated carbon (Abu-Dalo et al., 2021: 1-19), but also rich in organic matter exploitable as fertilizer (Parati et al., 2011: 160-163; Zorpas & Costa, 2010;7984-7987). “Ecotoxicity”, on the other hand, belongs to the cluster of waste reuse processes in agriculture and thus in association with soil. On the contrary, not much consideration is given to ecotoxicity associated with emissions (Blanco et al., 2022: 1-25; Nasini et al., 2016: 70-76) into the atmosphere or aquatic environment (Fiorentino et al., 2003: 1005-1009). While “sustainable development” is included in the clusters associated with by-product valorisation and models used for waste management; therefore, it is treated little from the point of view of technologies that are more sustainable but is mainly observed from the theoretical (modeling) and by-product valorisation point of view.

Figure 12 reports the results related to the network analysis of authors’ keywords for query 2, by which the eco-efficiency of treatment technologies for by-products and mill production waste, from the olive oil sector is investigated.

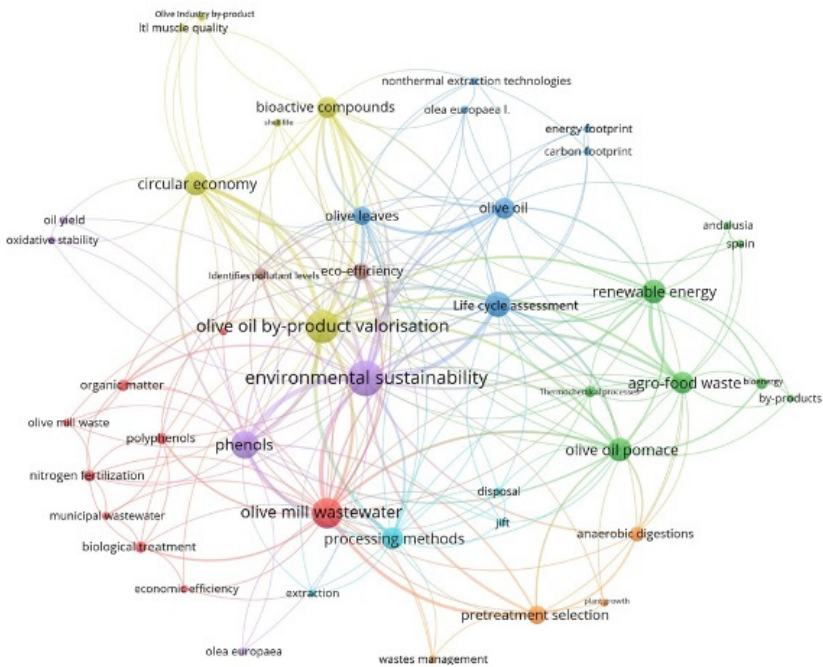


Figure 12 – Visual network mapping representation of VOSviewer related to the authors’ keywords for query 2

Through the visual network map, it emerges that the most occurred keywords are represented by “environmental sustainability”, “olive oil by-product valorisation”, “olive mill wastewater”, “circular economy” and “life cycle assessment”. Compared to these, less highlighted but still quite frequent is the term “eco-efficiency”; this points out that the authors rarely use the term eco-efficiency to describe the set of studies conducted on resource management in the treatment of olive mill by-products/waste. The focus tends to shift more toward the valorisation processes, circular economy, and the Life Cycle Assessment (LCA). Specifically, the LCA method has been widely adopted by authors to assess the potential environmental impacts associated with all the life cycle stages of olive oil, from raw materials extraction, moving toward agronomic operations, extraction of oil storage, bottling and packaging, distribution, and end-of-life (e.g., Fernández-Lobato et al., 2022: 1-17; Ozturk et al., 2023: 1-9; Ruiz-Carasco et al., 2023: 1-23). All this fits into the categories of main keywords highlighted above. Thus, in the range of articles selected during the research,

many aspects of environmental sustainability and circular economy were touched by the authors, and the LCA method has emerged as a tool for evaluating eco-efficiency. In fact, the keywords analysis highlighted that the two terms are linked. Also, very often eco-efficiency has been associated, as shown in the study conducted, with the levels of pollutants emitted into the environment (Secchi et al., 2016: 269-281), so surely it is treated in an aspect exclusively related to the environmental externalities caused by these wastes that only partially belongs to the concept of eco-efficiency. From the point of view of by-product valorisation, it is interesting to note the relationship between “olive oil by-product valorisation” and “circular economy” and “bioactive compounds”, so the strength of the circular economy aspects expressed in these articles lies in the valorisation of by-products to obtain new products with added value, especially in the area of useful bioactive substances present in the waste. But, the valorisation of by-products also touches in an important way on renewable energy, which is related to the thermochemical processes of treatment of olive pomace and solid olive mill and agrifood waste, that are used as fuel biomass, and the production of energy to be used in the same production system (e.g., Fernández-Lobato, Aguado, et al., 2022: 1-17; García-Maraver et al., 2012: 745-751; Pattara et al., 2010: 1484-1489). The term “life cycle assessment” is certainly central to the research sample. Indeed, several links emerge between “life cycle assessment” and olive oil, environmental sustainability, energy, carbon footprint (Rinaldi et al, 2014), renewable energy use (Parascanu et al., 2018: 586-601), waste valorisation (Blanco et al., 2022: 1-25), circular economy, and eco-efficiency. This confirms that eco-efficiency has not been a topic dealt with as a viable means to affirm the total ecological transition of olive oil production, but it is considered as part of the already well-established model of circular economy and LCA method. At least, from the analysis of the keywords networks the LCA method emerged as the main tool used to evaluate the environmental performances related to the olive oil supply chain, the treatment technologies for the by-products and wastes valorisation, as well as potential circular economy strategies.

4 Conclusions

This study aimed to highlight, through a bibliometric analysis, a preliminary state of the art concerning by-product and waste treatment technologies focusing on their valorisation processes and identify how their eco-efficiency has been investigated, also considering the concept of environmental sustainability and circular economy. Therefore, starting from two main research questions, the study of this paper focused on two

searches conducted simultaneously on Scopus and WoS databases, and for each search, subjected to the same selection process, the trend of publications during the years, the types of associated journals, which were the most cited articles, and the main geographical areas were investigated. Finally, the subject's area and author keywords were also investigated, which overall allowed the identification of the main study topics that emerged among the investigated articles. The results highlighted that the main waste analysed was olive mill wastewater, while the main technologies for treatment and valorisation were anaerobic digestion, initiated mainly with yeasts for the production of biogas, and thus for energy recovery; AOPs that allow high yields of reduction of liquid waste toxicity; nano- and ultra-membrane filtration that allow to obtain biomass from wastewater, which in turn can be recovered; and adsorption with activated carbon or other adsorbents of organic origin for recovery of phenolic matter. Thus, all levels of the bioeconomy pyramid were touched upon with greater weight, however, for the lower levels of material and energy recovery. It was interesting to find at this early stage of the study, the presence of themes related to circular economy, environmental sustainability, and toxicity, expressing reasonable attention to these environmental aspects and related concepts. Furthermore, the main results pointed out that the themes of circular economy, LCA, and by-product valorisation were very present in the sample analysed, and in association with these minimally touched on eco-efficiency. The latter did not emerge as an indicator to accompany the circular economy to direct concrete measures to the ecological transition of this production sector. Therefore, despite eco-efficiency being an important concept, already initiated in studies of agribusiness production for the implementation of the ecological transition, in the olive oil sector and the treatment of its by-products and wastes, it is not particularly well established as such. Only the LCA method has emerged as a tool for evaluating eco-efficiency.

The proposed bibliometric analysis provided a preliminary overview of the main trends and topics related to the subject of study (namely the analysis of the state-of-the-art waste and by-product treatment technologies in the olive oil production processes, by focusing on their valorisation strategies and how eco-efficiency has been explored in this area from a circular economy and environmental sustainability perspective), further future research should be oriented on carrying out a detailed analysis of the content of the articles, applying, for example, a systematic or content analysis.

Bibliography

- ABU-DALO, M., ABDELNABI, J., BAWAB, A.A. (2021). Preparation of activated carbon derived from Jordanian olive cake and functionalized with Cu/Cu₂O/CuO for adsorption of phenolic compounds from olive mill wastewater. *Materials*, 14(21), 6636.
- ALBURQUERQUE, J.A., GONZÁLVIZ, J., GARCÍA, D., CEGARRA, J. (2006). Composting of a solid olive-mill by-product (“alperujo”) and the potential of the resulting compost for cultivating pepper under commercial conditions. *Waste Management*, 26(6), 620-626. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.04.008>.
- AMARAL-SILVA, N., MARTINS, R.C., NUNES, P., CASTRO-SILVA, S., QUINTA-FERREIRA, R.M. (2017). From a lab test to industrial application: Scale-up of Fenton process for real olive mill wastewater treatment: From a lab test to industrial application. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(6), 1336–1344. <https://doi.org/10.1002/jctb.5128>.
- AZBAR, N., KESKIN, T., YURUYEN, A. (2008). Enhancement of biogas production from olive mill effluent (OME) by co-digestion. *Biomass and Bioenergy*, 32(12), 1195–1201. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.03.002>.
- BARBERA, M. (2020). Reuse of food waste and wastewater as a source of polyphenolic compounds to use as food additives. *Journal of AOAC International*, 103(4), 906-914.
- BERBEL, J., POSADILLO, A. (2018). Review and Analysis of Alternatives for the Valorisation of Agro-Industrial Olive Oil By-Products. *Sustainability*, 10(1), 237. <https://doi.org/10.3390/su10010237>.
- BOCKEN, N.M.P., DE PAUW, I., BAKKER, C., VAN DER GRINTEN, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>.
- CAPUTO, A.C., SCACCHIA, F., PELAGAGGE, P.M. (2003). Disposal of by-products in the olive oil industry: Waste-to-energy solutions. *Applied Thermal Engineering*, 23(2), 197-214. [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00173-4](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00173-4).
- BLANCO, I., DE BELLIS, L., LUVISI, A. (2022). Bibliometric Mapping of Research on Life Cycle Assessment of Olive Oil Supply Chain. *Sustainability*, 14(7), 3747.
- BONETTI A., VENTURINI S., ENA A., FARALONI C., (2016). Innovative method for recovery and valorization of hydroxytyrosol from olive mill wastewaters. *Water Sci Technol.* 74 (1): 73-86. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.181>.

- CAMACHO M.A.N., GARCÍA LOPEZ A., MARTINEZ-FEREZ A., OCHANDO-PULIDO J.M. (2021) Two-phase olive-oil washing wastewater treatment plus phenolic fraction recovery by novel ion exchange resins process modelling and optimization. *Separation and Purification Technology*. Volume 269, 15 August 2021, 118755.
- CARLUCCIO, M.A., SICULELLA, L., ANCORA, M.A., MASSARO, M., SCODITTI, E., STORELLI, C., VISIOLI, F., DISTANTE, A., DE CATERINA, R. (2003). Olive Oil and Red Wine Antioxidant Polyphenols Inhibit Endothelial Activation: Antiatherogenic Properties of Mediterranean Diet Phytochemicals. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 23(4), 622-629. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.0000062884.69432.A0>.
- M. CIFUENTES-CABEZAS, C.M. SANCHEZ-ARÉVALO, J.A. MENDOZA-ROCA, M.C. VINCENT-VELA, S. ÁLVAREZ-BLANCO, (2022) Recovery of phenolic compounds from olive oil washing wastewater by adsorption/desorption process, *Separation and Purification Technology*, Volume 298, 121562, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121562>.
- DELLA GRECA, M., MONACO, P., PINTO, G., A. POLLIO, L. PREVITERA & F. TEMUSSI. Phytotoxicity of Low-Molecular-Weight Phenols from Olive Mill Waste Waters. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 67, 0352-0359 (2001). <https://doi.org/10.1007/s001280132>.
- DINI, I., GRAZIANI, G., FEDELE, F.L., SICARI, A., VINALE, F., CASTALDO, L., RITIENI, A. (2020). Effects of Trichoderma Biostimulation on the Phenolic Profile of Extra-Virgin Olive Oil and Olive Oil By-Products. *Antioxidants*, 9(4), 284. <https://doi.org/10.3390/antiox9040284>.
- DOMINGUES, E., GOMES, J., QUINA, M., QUINTA-FERREIRA, R., MARTINS, R. (2018). Detoxification of Olive Mill Wastewaters by Fenton's Process. *Catalysts*, 8(12), 662. <https://doi.org/10.3390/catal8120662>.
- DONNER, M., ERRAACH, Y., LÓPEZ-I-GELATS, F., MANUEL-I-MARTIN, J., YATRIBI, T., RADIĆ, I., EL HADAD-GAUTHIER, F. (2022). Circular bioeconomy for olive oil waste and by-product valorisation: Actors' strategies and conditions in the Mediterranean area. *Journal of Environmental Management*, 321, 115836.
- DONTHU, N., KUMAR, S., MUKHERJEE, D., PANDEY, N., LIM, W.M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>.
- EDGECOMBE, S.C., STRETCH, G.L., HAYBALL, P.J. (2000). Oleuropein, an antioxidant polyphenol from olive oil, is poorly absorbed from isolated perfused rat intestine. *The Journal of Nutrition*, 130(12), 2996-3002.

- EUROPEAN COMMISSION, BRUSSELS, 8.9.2022. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT Environmental Implementation Review 2022 Country Report – ITALY.
- FERNÁNDEZ-PEREIRA, C., DE LA CASA, J.A., GÓMEZ-BAREA, A., ARROYO, F., LEIVA, C., LUNA, Y. (2011). Application of biomass gasification fly ash for brick manufacturing. *Fuel*, 90(1), 220-232.
- FERNÁNDEZ-LOBATO, L., AGUADO, R., JURADO, F., VERA, D. (2022). Biomass gasification as a key technology to reduce the environmental impact of virgin olive oil production: A life cycle assessment approach. *Biomass and Bioenergy*, 165, 106585.
- FERNÁNDEZ-LOBATO, L., AGUADO, R., JURADO, F., VERA, D. (2022). Biomass gasification as a key technology to reduce the environmental impact of virgin olive oil production: A life cycle assessment approach. *Biomass and Bioenergy*, 165, 106585.
- FIGGE, F., THORPE, A.S. (2023). Circular economy, operational eco-efficiency, and sufficiency. An integrated view. *Ecological Economics*, 204, 107692. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107692>.
- FIorentino, A., GENTILI, A., ISIDORI, M., MONACO, P., NARDELLI, A., PARRELLA, A., TEMUSSI, F. (2003). Environmental effects caused by olive mill wastewaters: toxicity comparison of low-molecular-weight phenol components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(4), 1005-1009.
- FRANKLE R.T. (1976) Nutrition education in the medical school curriculum: a proposal for action: a curriculum design. *The American Journal of Clinical Nutrition*, Volume 29, Issue 1, January 1976, Pages 105-109. <https://doi.org/10.1093/ajcn/29.1.105>Get rights and content.
- GALLIOU, F., MARKAKIS, N., FOUNTOULAKIS, M.S., NIKOLAIDIS, N., MANIOS, T. (2018). Production of organic fertilizer from olive mill wastewater by combining solar greenhouse drying and composting. *Waste Management*, 75, 305–311. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.020>.
- MACARTHUR, E. (2013). Towards the circular economy, economic and business rationale for an accelerated transition. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK, 1.
- MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., ALTMAN, D.G., ANTES, G., ATKINS, D., BARBOUR, V., BARROWMAN, N., BERLIN, J.A., CLARK, J., CLARKE, M., COOK, D., D'AMICO, R., DEEKS, J.J., DEVEREAUX, P.J., DICKERSIN, K., EGGER, M., ERNST, E., GÖTZSCHE, P.C., GRIMSHAW, J., GUYATT, G., HIGGINS, J., IOANNIDIS, J.P.A., KLEIJNEN, J., LANG, T., MAGRINI, N., MCNAMEE, D., MOJA, L., MUL-

- ROW, C., NAPOLI, M., OXMAN, A., PHAM, B., RENNIE, D., SAMPSON, M., SCHULZ, K.F., SHEKELLE, P.G., TOVEY, D., TUGWELL, P. (2014). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *Rev. Esp. Nutr. Humana y Diet.* <https://doi.org/10.14306/renhyd.18.3.114>.
- GARCÍA-MARAVER, A., ZAMORANO, M., RAMOS-RIDAO, A., DÍAZ, L.F. (2012). Analysis of olive grove residual biomass potential for electric and thermal energy generation in Andalusia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 745-751.
- GEISSDOERFER, M., PIERONI, M.P.P., PIGOSSO, D.C.A., SOUFANI, K. (2020). Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123741. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>.
- GORZYNIK-DEBICKA M., PRZYCHODZEN P., CAPPELLO F., KUBAN-JANKOWSKA A., MARINO GAMMAZZA A., KNAP N., WOZNIAK M., GORSKA-PONIKOWSKA M. (2018). *Int. J. Mol. Sci.* 2018, 19, 547; doi:10.3390/ijms19030686.
- HUPPES, G., ISHIKAWA, M. (2005). Eco-efficiency and Its Terminology. *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 43–46. <https://doi.org/10.1162/108819805775247891>.
- JIMENEZ-LOPEZ C., CARPENA M., LOURENÇO-LOPES C.M., GALLARDO-GOMEZ J.M., LORENZO F., BARBA J., PRIETO M.A. AND SIMAL-GANDARA J. (2020). Bioactive Compounds and Quality of Extra Virgin Olive Oil. *Foods* 2020, 9, 1014; doi:10.3390/foods9081014.
- KHOUI, S., ALOUI, F., SAYADI, S. (2006). Treatment of olive oil mill wastewater by combined process electro-Fenton reaction and anaerobic digestion. *Water Research*, 40(10), 2007–2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.03.023>.
- KOMNITSAS, K., ZAHARAKI, D. (2012). Pre-treatment of olive mill wastewaters at laboratory and mill scale and subsequent use in agriculture: Legislative framework and proposed soil quality indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 69, 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.09.009>.
- KOSKELA, M., VEHMAS, J. (2012). Defining Eco-efficiency: A Case Study on the Finnish Forest Industry: A Case Study on the Finnish Forest Industry. *Business Strategy and the Environment*, 21(8), 546-566. <https://doi.org/10.1002/bse.741>.
- KOUTSOS, T.M., CHATZISTATHIS, T., BALAMPEKOU, E.I. (2018). A new framework proposal, towards a common EU agricultural policy, with the best sustainable practices for the re-use of olive mill wastewater. *Science of the Total Environment*, 622, 942-953.

- KHWALDIA, K., ATTOUR, N., MATTHES, J., BECK, L., SCHMID, M. (2022). Olive byproducts and their bioactive compounds as a valuable source for food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(2), 1218-1253.
- LEWANDOWSKI, I. (2018). Erratum to: Bioeconomy: Shaping the Transition to a Sustainable, Biobased Economy. In I. Lewandowski (A c. Di), *Bioeconomy* (pp. E1-E1). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8_13.
- MCINTYRE, R.J., THORNTON, J.R. (1978). On the environmental efficiency of economic systems. *Soviet Studies*, 30(2), 173-192. <https://doi.org/10.1080/09668137808411179>.
- MEHDAOUI, R., AGREN, S., EL HASKOURI, J., BEYOU, E., LAHCINI, M., BAOUAB, M.H.V. (2022). An optimized sono-heterogeneous Fenton degradation of olive oil mill wastewater organic matter by new magnetic glutaraldehyde-crosslinked developed cellulose. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(8), 20450-20468. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23276-2>.
- MEKKI, H., ANDERSON, M., BENZINA, M., AMMAR, E. (2008). Valorization of olive mill wastewater by its incorporation in building bricks. *Journal of Hazardous Materials*, 158(2-3), 308-315.
- NASINI, L., DE LUCA, G.D., RICCI, A., ORTOLANI, F., CASELLI, A., MAS-SACCESI, L., PROIETTI, P. (2016). Gas emissions during olive mill waste composting under static pile conditions. *International Biodegradation & Biodegradation*, 107, 70-76.
- NCUBE, A., FIORENTINO, G., PANFILO, DE FALCO M., ULGIATI S. (2022) Circular economy paths in the olive oil industry: a Life Cycle Assessment look into environmental performance and benefits. *Int J Life Cycle Assess.* <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02031-2>.
- NIETO, L.M., HODAIFA, G., VIVES, S.R., CASARES, J.A.G., DRISS, S.B., GRUESO, R. (2009). Treatment of olive-mill wastewater from a two-phase process by chemical oxidation on an industrial scale. *Water Science and Technology*, 59(10), 2017-2027. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.165>.
- NUNES, A., MARTO, J., GONÇALVES, L., MARTINS, A.M., FRAGA, C., RIBEIRO, H.M. (2022). Potential therapeutic of olive oil industry by-products in skin health: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(1), 173-187. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15384>.
- PAMPURI, A., CASSON, A., ALAMPRESE, C., DI MATTIA, C.D., PISCOPO, A., DIFONZO, G., GIOVENZANA, V. (2021). Environmental impact of food preparations enriched with phenolic extracts from olive oil mill waste. *Foods*, 10(5), 980.

- PARASCANU, M.M., GAMERO, M.P., SÁNCHEZ, P., SOREANU, G., VALVERDE, J.L., SANCHEZ-SILVA, L. (2018). Life cycle assessment of olive pomace valorisation through pyrolysis. *Renewable Energy*, 122, 589-601.
- PARASKEVA, P., DIAMADOPOULOS, E. (2006). Technologies for olive mill wastewater (OMW) treatment: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 81(9), 1475-1485.
- PARATI, F., ALTIERI, R., ESPOSITO, A., LOBIANCO, A., PEPI, M., MONTESI, L., NAIR, T. (2011). Validation of thermal composting process using olive mill solid waste for industrial scale cultivation of *Agaricus bisporus*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65(1), 160-163.
- PATTARA, C., CAPPELLETTI, G.M., CICHELLI, A. (2010). Recovery and use of olive stones: commodity, environmental and economic assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(5), 1484-1489.
- RANA, G., RINALDI, M., INTRONA, M. (2003). Volatilisation of substances after spreading olive oil wastewater on the soil in a Mediterranean environment. *Agriculture, ecosystems & environment*, 96(1-3), 49-58.
- RINCÓN, B., BORJA, R., MARTÍN, M.A., MARTÍN, A. (2009). Evaluation of the methanogenic step of a two-stage anaerobic digestion process of acidified olive mill solid residue from a previous hydrolytic-acidogenic step. *Waste management*, 29(9), 2566-2573.
- RUIZ-CARRASCO, B., FERNÁNDEZ-LOBATO, L., LÓPEZ-SÁNCHEZ, Y., VERA, D. (2023). Life Cycle Assessment of Olive Oil Production in Turkey, a Territory with an Intensive Production Project. *Agriculture*, 13(6), 1192.
- SAR, T., OZTURK, M., TAHERZADEH, M.J., FERREIRA, J.A. (2020). New insights on protein recovery from olive oil mill wastewater through bioconversion with edible filamentous fungi. *Processes*, 8(10), 1210.
- SICARI, V., CUSTURERI, I.M.G., TUNDIS, R., LOIZZO, M.R. (2023). Comparison of Physicochemical Characteristics and Bioactivity of Olive Oil Mill Wastewaters from Traditional and Water-Saving ARA-Controlled Three-Phase Decanter: Sustainability, 15(5), 3890.
- SECCHI M., CASTELLANI V., COLLINA E., MIRABELLA N., SALA S. (2016). Assessing eco-innovations in green chemistry: Life Cycle Assessment (LCA) of a cosmetic product with a bio-based ingredient. Assessing eco-innovations in green chemistry: Life Cycle Assessment (LCA) of a cosmetic product with a bio-based ingredient. *Journal of Cleaner Production*. Volume 129, 269-281.

- VAN ECK, N.J., WALTMAN, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.
- WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2000. Eco-Efficiency. Creating more value with less impact, WBCSD, Geneva.
- ZORPAS, A.A., COSTA, C.N. (2010). Combination of Fenton oxidation and composting for the treatment of the olive solid residue and the olive mill wastewater from the olive oil industry in Cyprus. *Bioresource Technology*, 101(20), 7984-7987.

Selezione di estratti naturali da economia circolare come potenziali ingredienti attivi per la produzione di polimeri per il food packaging

Pamela Vignolini
University of Florence
Margherita Campo
University of Florence
Silvia Urciuoli
University of Florence
Andrea Lombardi
University of Tuscia
Roberta Bernini
University of Tuscia

ABSTRACT

Il food packaging attivo rappresenta un'area di ricerca promettente nel settore agro-alimentare per il prolungamento della shelf-life di prodotto, con effetti positivi su livelli di sicurezza e riduzione dello spreco alimentare. L'acido poli-lattico (PLA) rappresenta uno tra i più diffusi materiali polimerici ottenuti da risorse rinnovabili, grazie alla versatilità, alle prestazioni e al ridotto impatto ambientale per quanto riguarda sia i processi produttivi che il successivo utilizzo, fino alla fase di smaltimento (conforme alla norma europea EN 13432 sui materiali compostabili). L'inclusione di specifici Ingredienti Attivi (IA) nel PLA può conferire all'imballaggio la capacità di rallentare fenomeni degradativi e contaminazioni microbiche del contenuto. Negli ultimi anni gli estratti vegetali hanno suscitato un grande interesse per il loro potenziale uso come IA grazie alle diverse attività e funzioni che possono esplicare; inoltre, l'utilizzo di prodotti naturali da economia circolare come funzionalizzanti, in sostituzione di quelli di sintesi, può ulteriormente contribuire alla sostenibilità e alla sicurezza del prodotto finale. Nell'ambito del presente studio sono stati presi in esame come possibili IA estratti naturali provenienti da scarti e sottoprodotti del settore agro-alimentare, in particolare da olivo, castagno, melograno e vite, ottenuti con processi sostenibili. Gli estratti sono stati caratterizzati mediante analisi HPLC-DAD-MS per il contenuto in composti attivi e testati in vitro per attività antiossidante correlata al contenuto in polifenoli totali e attività antimicrobica verso microrganismi di interesse alimentare. Sulla base dei dati di attività, saranno selezionati gli estratti da utilizzare per la produzione del PLA attivo.

PAROLE CHIAVE: HPLC-DAD-MS, polifenoli, PLA, ingredienti attivi, attività antimicrobica, economia circolare

1 Introduzione

Il recupero e l'utilizzo efficiente e sostenibile delle biomasse di scarto dei processi produttivi secondo modelli di economia circolare sta progressivamente divenendo la chiave per l'applicazione di criteri di sviluppo mirati alla tutela dell'ambiente, del territorio e degli aspetti sociali e del benessere della popolazione. L'applicazione di modelli di economia circolare si dimostra particolarmente efficace nell'ambito dei settori agricoli, dell'agroindustria e dei prodotti alimentari, permettendo una maggior produttività a basso impatto ambientale e una conversione quasi totale delle biomasse di scarto in nuovi materiali, sostanze, biocombustibili ed energia (Romani et al., 2020, Kee et al., 2021). Quelle dell'olivo (*Olea europaea* L.), della vite (*Vitis vinifera* L.) e del castagno (*Castanea sativa* Mill.) possono essere annoverate tra le principali filiere agricole in Italia, storicamente, per diffusione e per importanza a livello economico, sociale e culturale; mentre il melograno (*Punica granatum* L.), giunto in tutta l'area mediterranea dall'Asia Minore insieme ai Fenici, ha trovato nel Sud Italia le condizioni pedoclimatiche ideali per crescita e sviluppo, e in tempi più recenti ha acquisito una sempre maggior importanza economica grazie alla possibilità di creare filiere corte e posti di lavoro e di sviluppare tecnologie sostenibili per l'ambiente, anche in aree penalizzate e a rischio di calo demografico. La coltivazione del melograno, con una superficie totale nazionale in produzione per il 2022 di 1,584ha (stime ISTAT), è in espansione anche nel centro-nord Italia, ma le regioni leader rimangono quelle meridionali. Le stime ISTAT indicano in Italia, per il 2022, un totale di superfici produttive a uva da vino di 658,348ha e un totale di 1,042,587ha a superfici in produzione per olive da olio, con un andamento stabile o in crescita di anno in anno senza flessioni dovute alla pandemia; la castanicoltura, da decenni in forte contrazione a causa della prevalente diffusione in territori di difficile sfruttamento e/o soggetti a calo demografico, resta tuttavia un importante patrimonio culturale e turistico con una superficie totale nazionale di 39,674 ettari investiti nel 2020 (ISTAT, 7° Censimento generale dell'Agricoltura), e proprio per la rivalutazione della castanicoltura e dell'agricoltura in tali aree sono stati attivati specifici programmi a livello regionale e nazionale, favorendo anche lo sviluppo di tecnologie innovative e l'applicazione di specifici modelli di economia circolare. Le biomasse derivanti dalla coltivazione e trasformazione, per le quattro specie citate, sono state studiate e caratterizzate in numerosi studi scientifici e per alcune di

esse sono già stati implementati sistemi di sfruttamento su scala semi-industriale o industriale, data la possibilità di ottenere, con tecniche a basso impatto ambientale ed economicamente sostenibili, prodotti nuovi e innovativi ricchi in principi naturali con interessanti proprietà biologiche quali l'attività antiossidante, antimicrobica, antinfiammatoria, ma anche con proprietà coloranti, concianti e complessanti, adatti quindi per applicazioni in settori merceologici differenziati (Romani et al., 2020; Abad et al., 2023).

In tempi recenti, mediante l'applicazione di modelli di economia circolare alle diverse filiere, sono stati progettati e prodotti biomateriali innovativi sostenibili destinati al settore del packaging alimentare. Tali materiali, in alcuni casi derivanti dal recupero di materie prime seconde agroalimentari, sono per lo più caratterizzati da processi produttivi a basso impatto e dalla possibilità di essere destinati al compostaggio dopo l'utilizzo.

L'imballaggio ha la funzione essenziale di prolungare la durata di conservazione degli alimenti e aumentarne il valore e in questa ottica il food packaging attivo è un sistema che permette di mantenere o migliorare gli aspetti sensoriali, di sicurezza e di qualità del cibo, e rappresenta un'area di ricerca promettente nel settore agro-alimentare per il prolungamento della shelf-life di prodotto e per la riduzione dello spreco alimentare.

La richiesta di imballaggi è destinata ad aumentare sempre di più nei prossimi anni, spinta da fattori come la crescita del commercio elettronico, le maggiori preoccupazioni in materia di igiene e sicurezza e le richieste dei consumatori e delle aziende per prodotti ecologici e sostenibili. Per questo molte aziende sono in prima linea nella ricerca di possibilità di intervento ed investono in ricerca e sviluppo di nuovi materiali ecologici e meno impattanti a livello ambientale, cercando di sviluppare una serie di materiali genericamente indicati con il nome di bioplastiche.

L'acido poli-lattico (PLA) rappresenta uno tra i più diffusi materiali polimerici ottenuti da risorse rinnovabili, grazie alla versatilità, alle prestazioni e al ridotto impatto ambientale per quanto riguarda sia i processi produttivi che il successivo utilizzo, fino alla fase di smaltimento (conforme alla norma europea EN 13432 sui materiali compostabili). L'inclusione di specifici Ingredienti Attivi (IA) nel PLA può conferire all'imballaggio la capacità di rallentare fenomeni degradativi e contaminazioni microbiche del contenuto. Negli ultimi anni gli estratti vegetali hanno suscitato un grande interesse per il loro potenziale uso come IA grazie alle diverse attività e funzioni che possono esplicare; inoltre, l'utilizzo di prodotti naturali da economia circolare come funzionalizzanti, in sostituzione di quelli di sintesi, può ulteriormente contribuire alla sostenibilità e alla sicurezza del prodotto finale. Nell'ambito del presente studio, estratti naturali ricchi in composti bioattivi provenienti dal recupero di scarti e sottoprodotti di olivo, castagno, melograno e vite, ottenuti con processi sostenibili, sono stati presi in esame come possibili IA.

Gli estratti sono stati caratterizzati mediante analisi HPLC-DAD-MS per il contenuto in composti attivi e testati *in vitro* per attività antiossidante correlata al contenuto in polifenoli totali e attività antimicrobica verso microrganismi di interesse alimentare. Sulla base dei dati di attività, saranno selezionati gli estratti da utilizzare per la produzione del PLA attivo.

2 Metodologia

2.1 Campioni

Gli estratti naturali provengono da scarti e sottoprodotti del settore agro-alimentare e derivano da processi di economia circolare ottenuti mediante metodologie di estrazione sostenibili. In particolare sono stati presi in considerazione scarti e residui vegetali provenienti da olivo (sansa), castagno (legno sia da scarto di processo che da manutenzione di ceppaie), melograno (pericarpo) e vite (vinacce). Gli estratti di sansa e di castagno sono frazioni industriali commerciali ottenute mediante un processo sostenibile ed ecologico di estrazione acquosa a caldo e concentrazione/purificazione mediante tecnologia a membrana, descritto da Campo et al. 2016. Il pericarpo di melograno (*Punica granatum* L., cv. Wonderful) è stato separato dalla frutta fresca, raccolta presso un'azienda agricola in provincia di Grosseto, tritato finemente ed estratto per 1 ora in acqua bollente (10% p/v) sotto agitazione magnetica. La miscela di estrazione è stata lasciata raffreddare a temperatura ambiente e mantenuta in macerazione per 24 h; quindi, l'estratto è stato filtrato, congelato e liofilizzato per ottenere la polvere finale (resa: 9,2%). Le vinacce essiccate, fornite dalla Cantina Cesarini Sartori (Loc. Purgatorio, Gualdo Cattaneo, PG, Italia), sono state estratte con una soluzione idroalcolica (EtOH:H₂O, 70:30 pH 2.5 per HCOOH), per 24 ore. La soluzione è stata filtrata, è stato evaporato l'etanolo, quindi la soluzione è stata congelata e liofilizzata per ottenere la polvere finale (resa: 0,9%).

2.2 Analisi Cromatografica HPLC-DAD-MS

Le analisi HPLC-DAD-MS sono state effettuate con un cromatografo liquido HP-1260 munito di un rivelatore DAD e uno spettrometro di massa MSD API-electrospray (Agilent Technologies) operante sia in positivo che in negativo. Gli estratti di castagno e di melograno sono stati analizzati con una colonna Luna RP18 250 × 4.60 mm i.d, 5 μm (Phenomenex, Torrance, CA), utilizzando un gradiente lineare a 4 steps, a partire dal 100% di H₂O (pH 3.2 per HCOOH) fino al 100% di CH₃CN, con flusso 0.8 mL/min per 55 minuti, come descritto in precedenza (Romani et al., 2012; Campo et al., 2016). La valutazione del contenuto in composti polifenolici degli estratti di vite e di olea è stata condotta utiliz-

zando una colonna Lichrosorb RP18 250 × 4.60 mm i.d, 5 µm (Merck Darmstadt, Germania), un gradiente lineare a 4 steps, partendo dal 100% di H₂O (pH 3.2 per HCOOH) fino al 100% di CH₃CN, in 117 minuti con flusso 0.8 mL/min, come descritto in precedenza da Romani et al. (2019). Infine il contenuto in composti antocianosidici degli estratti di vite è stato valutato utilizzando la colonna Luna, RP18 250 × 4.60 mm i.d, 5 µm (Phenomenex, Torrance, CA) operante a 26 °C, con un gradiente lineare multi-step, a partire dal 95% H₂O (pH 1.8 per HCOOH) fino al 100% CH₃CN, per 26 minuti, flusso di 0,8 mL/min.

L'identificazione dei singoli composti è stata effettuata usando tempi di ritenzione e dati spettrofotometrici e spettrometrici, mediante il confronto con standard specifici ove disponibili e con i dati presenti in letteratura. La quantificazione è stata effettuata in HPLC-DAD usando curve di regressione a 5 punti costruite misurando l'assorbanza di soluzioni di standard specifici a concentrazioni note. Sono state prese in considerazione curve con $R^2 > 0.9998$. La calibrazione è stata fatta alle lunghezze d'onda di massima assorbanza UV-Vis, applicando la correzione dei pesi molecolari. L'acido ellagico e gli ellagitannini sono stati calibrati a 254 nm utilizzando l'acido ellagico come standard di riferimento, l'acido gallico e i gallotannini sono stati calibrati a 280 nm utilizzando l'acido gallico come standard, catechina, epicatechina, e procianidine sono state calibrate a 280 nm utilizzando catechina idrato; tirosolo ed OH-tirosolo a 280 nm utilizzando OH-tirosolo come standard di riferimento, ed infine le antocianine sono state calibrate a 520 nm utilizzando malvidina-3-O-glucoside come composto di riferimento. L'analisi è stata eseguita in triplicato; i risultati riportati sono la media di tre determinazioni con deviazione standard ≤ 5%.

2.3 Analisi spettrofotometriche: valutazione attività antiossidante

L'attività antiossidante dei vari estratti è stata valutata tramite il saggio di Folin-Ciocalteu, metodo descritto da Singleton et al. (1999) leggermente modificato: 125 µL di campione opportunamente diluito sono stati aggiunti a 500 µL di H₂O e a 125 µL di reattivo; dopo 6 minuti di incubazione sono stati aggiunti 1.25 mL di soluzione satura di Na₂CO₃ e 1.00 mL di H₂O e la soluzione mantenuta in incubazione al buio per 85 minuti. I campioni sono stati quindi centrifugati per 5 minuti a 5000 rpm ed è stata misurata l'assorbanza a 725 nm. Il contenuto in fenoli è stato determinato usando una curva di calibrazione a 5 punti in acido gallico e il contenuto in fenoli espresso in GAE (Gallic Acid Equivalents).

2.4 Attività antimicrobica

Gli estratti sono stati testati contro funghi filamentosi quali: *Aspergillus brasiliensis* (ex *A. niger*) derivati da ATCC 16404, *Alternaria* sp. de-

rivato da ATCC 20.084 (Microbiologics, St. Cloud, MN, USA), *Rhizopus stolonifer* derivato da ATCC 14.037 e *Trichophyton interdigitale* derivato da ATCC 9533 (Kairosafe, Trieste, Italia).

L'inoculo fungino è stato preparato da una coltura fresca di circa 4 giorni per *Rhizopus stolonifer*, 7 giorni per *Alternaria* sp. e *Aspergillus brasiliensis* e 15 giorni per *Trichophyton interdigitale* secondo la procedura EU-CAST E.DÉF 9.4 con piccole modifiche. I funghi sono stati mantenuti su Potato Dextrose Agar (PDA) a 25 °C.

I substrati sono stati ottenuti aggiungendo diverse quantità di estratti al PDA per ottenere concentrazioni finali dell'1,0%; 0,5%; e 0,1% (p/v). Come confronto sono stati utilizzati i conservanti sorbato di potassio (SK) e acido benzoico (BA). Dopo la solubilizzazione, il pH è stato regolato a $5,6 \pm 0,2$ utilizzando KOH 1 M o HCl 1 M. I substrati sono stati quindi sterilizzati a 121 °C per 15 minuti e trasferiti in piastre Petri da 55 mm.

Il test dell'attività antifungina è stato eseguito sulla base di un metodo di diffusione precedentemente descritto, con leggere modifiche (Kinay et al., 2007; Achar et al., 2020; Lombardi et al., 2023).

2.5 Analisi statistica

L'analisi dei dati è stata eseguita utilizzando RStudio Desktop (versione 2023.13.0+386, Posit Software, PBC, Boston, MA, USA). Per determinare le differenze tra gli esperimenti, è stata eseguita l'analisi della varianza a una via (ANOVA) con livello di significatività fissato a $p = 0,05$. La separazione dei valori è stata effettuata utilizzando il test HSD di Tukey. EC50 è stato calcolato utilizzando la funzione "LL.2" del pacchetto "drc", corrispondente ad un modello log-logistico, dove il limite inferiore è stato fissato a 0 (controllo negativo CC solo per PDA) e il limite superiore è stato fissato a 1 (corrispondente all'inibizione totale) secondo quanto descritto da Ritz et al. (2015).

3 Discussione dei risultati

Nell'ottica del recupero, della valorizzazione e dell'utilizzo efficiente e sostenibile delle biomasse di scarto delle matrici olivo (sansa), vite (vinacce), castagno (legno) e melograno (pericarpo), gli estratti ottenuti, secondo le procedure indicate nella sezione precedente, sono stati sottoposti ad analisi cromatografica HPLC-DAD-MS, al fine di valutarne la composizione in composti polifenolici, composti noti per le loro proprietà antiossidanti e antinfiammatorie, in grado di proteggere le cellule dallo stress ossidativo.

Di seguito (Tabella 1) riportiamo i dati relativi al contenuto in po-

lifenoli totali ed alle principali classi di composti presenti nei vari estratti analizzati.

Campioni	Polifenoli totali (mg/g)	Sottoclassi (%)	Composti rappresentativi (%)
EO	173 ± 5	composti minori polari 100	OH-tirosolo 79.8
EC	260 ± 3	tannini idrolizzabili 100	castalagina/vescalagina 55.8
EM	115 ± 2	tannini idrolizzabili 100	Punicalagin totale 74.4
EV	425 ± 8	procianidine 86 flavanoli 13 antociani 1	procianidine tetrameri 68.9 catechina/epicatechina 0.09 malvidin-3-glucoside 0.07

Tabella 1 – Polifenoli totali espressi in mg/g, sottoclassi espresse come % del contenuto in polifenoli totali e composti rappresentativi delle varie classi presenti espressi in % del contenuto in polifenoli totali, dei campioni analizzati. I dati sono la media di tre repliche. EO. Estratto di olivo; EC. Estratto di castagno; EM. Estratto di melograno; EV. Estratto di vinacce

Per quanto riguarda l'estratto di sansa (EO) il principale composto presente è risultato essere l'OH-tirosolo (138 mg/g), molecola particolarmente rappresentativa nella matrice considerata e di grande interesse grazie alle proprietà antiossidanti, antimicrobiche e antinfiammatorie (Visioli et al., 2001; Robles-Almazan et al., 2018). Gli estratti di castagno (EC) e di melograno (EM), ricchi in tannini idrolizzabili, presentano elevate quantità degli epimeri castalagina e vescalagina (145.3 mg/g in totale) e α/β -punicalagina (85.6 mg/g), rispettivamente. Castalagina e vescalagina, ellagitannini ad alto peso molecolare (934 Da), sono composti caratteristici del legno di alberi quali il castagno e la quercia, presenti in quantitativi generalmente alti negli estratti acquosi, e mostrano attività antiossidante ed antimicrobica così come gli altri tannini presenti nel fitocomplesso (Araújo et al., 2021; Romani et al., 2021). Nell'estratto ottenuto dal pericarpo di melograno la punicalagina, ellagitannino caratteristico del melograno con massa 1084 Da, è presente sotto forma dei due isomeri α e β , ma è stata identificata nello stesso estratto, in base al profilo di assorbimento UV-Vis e al peso molecolare, anche sotto forma di un ulteriore isomero. Studi scientifici attribuiscono in particolare a questo composto l'attività antimicrobica, oltre ad altre proprietà biologiche quali l'attività antinfiammatoria, degli estratti da pericarpo di melograno (Mastrogiovanni et al., 2020; Gosset-Erard et al., 2021; Ranjha et al., 2021). Le vinacce (EV) mostrano una composizione più complessa per quanto riguarda le classi polifenoliche presenti. La principale classe è rappresentata dalle procianidine, in particolare

procianidine tetrameriche, fra i composti più abbondanti (293 mg/g), e troviamo anche flavanoli e antocianine. Molto interessante risulta in particolare la presenza di catechina e soprattutto di epicatechina, sebbene in piccola percentuale, visti i numerosi studi che ne evidenziano le interessanti attività biologiche sia come tali che sotto forma di derivati galloilati all'interno di alimenti (Nazaruddin et al., 2006; Sirk et al., 2009; Prakash et al., 2019). I composti antocianosidici rappresentano l'1% in peso dei polifenoli presenti; la bassa concentrazione di tali composti in una matrice dove si mostrano generalmente particolarmente abbondanti è dovuta al loro trasferimento in soluzione durante il processo di vinificazione e, inoltre, alla loro instabilità che li espone a fenomeni degradativi durante le diverse fasi di lavorazione. Tra i composti antocianosidici risulta maggiormente abbondante l'oenina (malvidina 3-*O*-glucoside), glucoside della malvidina rappresentativo della classe degli antociani nell'uva. Viste le potenzialità dei composti presenti, gli estratti sono stati analizzati anche per valutarne sia l'attività antiossidante che l'attività antimicrobica.

La capacità antiossidante degli estratti è stata valutata *in vitro* tramite saggio spettrofotometrico con reattivo di Folin-Ciocalteu, che esprime tale proprietà in relazione con la concentrazione dei composti antiossidanti determinata mediante una curva di calibrazione in acido gallico; il contenuto in fenoli e polifenoli viene espresso in GAE (Gallic Acid Equivalents, equivalenti di acido gallico). I dati ottenuti sono riportati in Figura 1. EV ha mostrato un'alta attività antiossidante (80.63 mg GAE/100g) sia di per sé che rispetto agli altri estratti esaminati, ma buoni risultati sono stati ottenuti anche per EC e EM (61.36 mg GAE/100g e 34.00 mg GAE/100g rispettivamente). EO ha mostrato attività inferiore (21.25 mg GAE/100g). L'andamento dei risultati del saggio *in vitro* riflette quello del contenuto in polifenoli totali determinati mediante analisi HPLC-DAD-MS per gli estratti contenenti tannini, composti noti per la loro capacità antiossidante (Kähkönen et al., 2001), mentre per quanto riguarda EO, i composti minori polari presenti in concentrazione comunque alta apportano in proporzione un minor contributo all'attività antiossidante dell'estratto. Al di là del confronto tra i diversi campioni testati, ognuno di essi mostra una notevole attività *in vitro*, che lo rende potenzialmente utile per applicazioni in diversi settori merceologici.

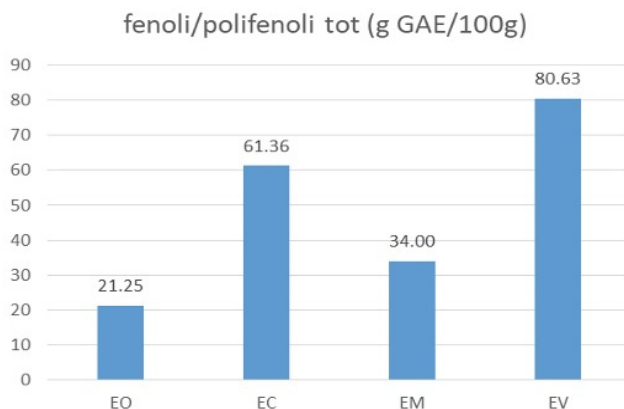


Figura 1 – Contenuto in fenoli e polifenoli totali negli estratti testati, determinato mediante saggio con reattivo di Folin-Ciocalteu. EO. Estratto di olivo; EC. Estratto di castagno; EM. Estratto di melograno; EV. Estratto di vinacce. Risultati espressi in grammi equivalenti di acido gallico per 100 grammi di campione in polvere (g GAE/ 100g)

Gli estratti sono stati testati per valutare la loro attività antimicrobica, su funghi filamentosi selezionati di interesse alimentare (*Aspergillus brasiliensis*, *Alternaria* sp., *Rhizopus stolonifer*) e, visti gli interessanti risultati, anche su un microrganismo di interesse biomedico (*Trichophyton interdigitale*). Per ciascun patogeno sono state testate tre concentrazioni (1,0%, 0,5% e 0,1% p/v) utilizzando un test di diffusione (Achar et al., 2020). A confronto sono stati testati due conservanti, acido benzoico (E210) e sorbato di potassio (E202), additivi largamente utilizzati nell'industria alimentare come conservanti grazie alle proprietà antifungine ed antibatteriche. Entrambi, sperimentati nelle stesse condizioni e concentrazioni e sugli stessi microrganismi, hanno prodotto inibizioni del 100% in tutti i test condotti (dati non mostrati).

Aspergillus brasiliensis: Per quanto riguarda l'attività su *Aspergillus brasiliensis*, solamente EV ha mostrato una modesta attività, mentre EO, EC ed EM non hanno mostrato nessuna attività inibitoria, nemmeno all'1% p/v (dati non mostrati).

Alternaria sp.: EM è risultato molto attivo a tutte le concentrazioni testate, mentre EO, EC ed EV sono risultati attivi all'1% ma l'attività inibitoria è diminuita passando dall'1% allo 0.1% (Figura 2).

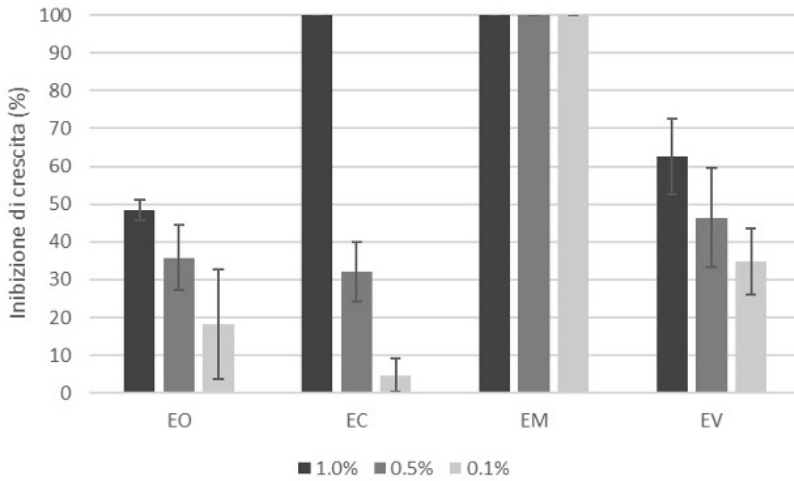


Figura 2 – Attività antifungina degli estratti su Alternaria sp

Rhizopus stolonifer: l'attività inibitoria di EM è risultata molto alta anche nel caso di *Rhizopus stolonifer* sebbene in modo leggermente inferiore rispetto all'azione svolta su *Alternaria* sp.. EC è risultato molto attivo a tutte e tre le concentrazioni testate, EV è risultato inattivo a 0.1%, mentre EO è risultato inattivo a tutte le concentrazioni (Figura 3).

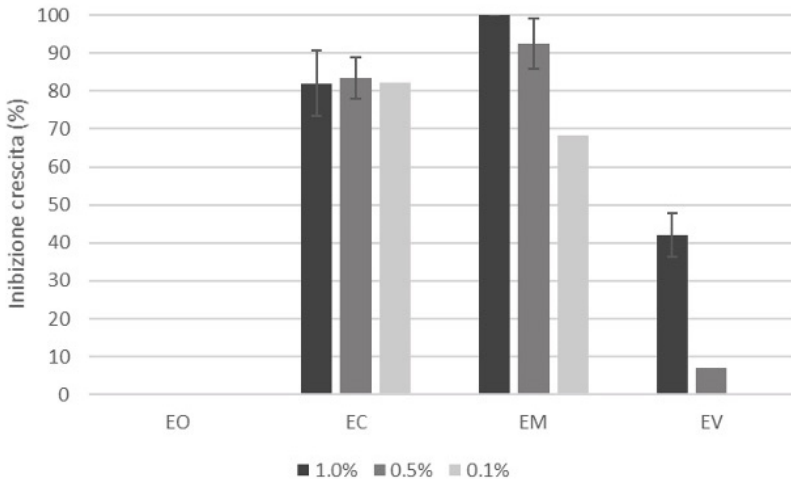


Figura 3 – Attività antifungina degli estratti su Rhizopus stolonifer

Trichophyton interdigitale: Nel caso di questo microrganismo di interesse biomedico tutti gli estratti (EC, EM, EV) tranne EO hanno evidenziato una elevata attività inibitoria a quasi tutte le concentrazioni testate (Figura 4)

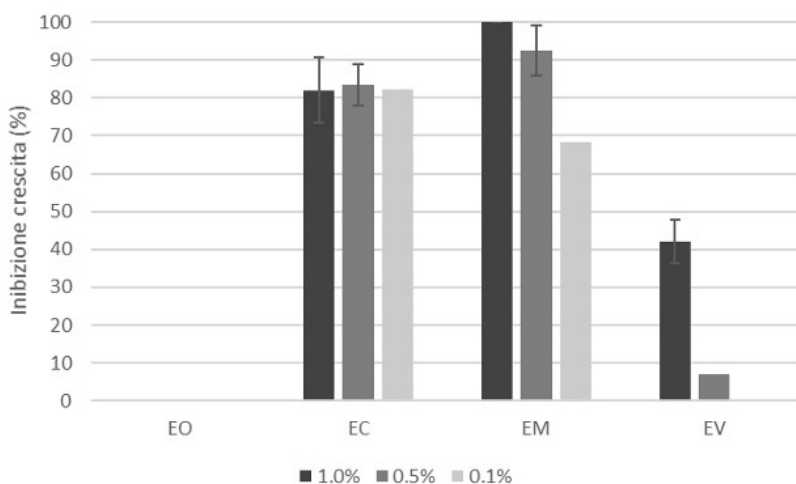


Figura 4 – Attività antifungina degli estratti su *Trichophyton interdigitale*

4 Conclusioni

La valorizzazione delle matrici di scarto e delle biomasse di origine agroalimentare e forestale ha trovato nel tempo importanti applicazioni nel settore dell'energia. Oggi tali matrici possono essere utilizzate anche per recuperare prodotti naturali ad alto valore aggiunto di interesse farmaceutico, nutraceutico, cosmetico e mangimistico. Fra i prodotti naturali estratti da queste matrici ci sono i polifenoli, metaboliti secondari caratterizzati dalla presenza di un anello aromatico più gruppi ossidrilici e prodotti dalle piante come agenti di difesa nei confronti di fattori esterni, come l'inquinamento, le radiazioni UV e le aggressioni di parassiti. Queste molecole riscuotono un grande interesse grazie alle loro proprietà biologiche, tra cui in particolare l'attività antiossidante e l'attività antimicrobica, tanto che possono essere impiegati in svariati settori: da quello agroalimentare, a quello nutraceutico e cosmetico fino alla loro applicazione come funzionalizzanti per biomateriali (Yan et al., 2021; Lombardi et al., 2022). L'utilizzo di questi composti come ingredienti attivi negli imballaggi alimentari permette di prolungare la durata di conservazione dei prodotti garantendo ambienti

ossidativi e microbici adeguati. La matrice dell'imballaggio potrebbe rilasciare specifici composti gradualmente o a una velocità controllata (nello spazio di testa dell'imballaggio o sulla superficie dei prodotti alimentari), inibendo l'ulteriore ossidazione o la crescita di microrganismi. Considerando il crescente interesse per questo tipo di utilizzo e nei confronti del recupero delle biomasse di scarto dei processi produttivi secondo modelli di economia circolare, il presente lavoro ha lo scopo di valorizzare gli scarti produttivi di vari settori agroalimentari.

Con riferimento ai processi di produzione dell'olio d'oliva e del vino, le grandi quantità di rifiuti e sottoprodotti rappresentano un'importante fonte di composti fenolici attivi, la stessa cosa accade anche per il settore castanicolo e nella produzione del melograno (Romani et al., 2020A; Romani et al., 2020B; Lombardi et al., 2023). Per tali motivi è stata effettuata una caratterizzazione quali-quantitativa, tramite analisi cromatografiche e spettrofotometriche, delle matrici a nostra disposizione, in modo da valutare il contenuto in principi attivi presenti e valorizzare le differenti classi polifenoliche. Contestualmente è stata valutata l'attività antimicrobica degli estratti su microrganismi di interesse alimentare e non. Le analisi condotte hanno mostrato la potenzialità degli estratti analizzati, evidenziando contenuti di polifenoli che vanno da 115 mg/g a 425 mg/g, per EM e EV rispettivamente, e la presenza di diverse sottoclassi polifenoliche quali tannini idrolizzabili, tannini condensati, composti minori polari. Gli estratti oggetto di studio hanno inoltre mostrato alta attività antiossidante valutata *in vitro* e correlabile al contenuto in fenoli e polifenoli, compresa tra 80.63 g GAE/100 g per EV e 21.25 g GAE/100 g per EO. L'attività antimicrobica, valutata su funghi filamentosi di interesse alimentare e su una dermatofita di interesse biomedico, è risultata in alcuni casi paragonabile o di poco inferiore a quella di due conservanti alimentari classici (acido benzoico e sorbato di potassio) con inibizioni massime del 100% della crescita dei microrganismi testati. In particolare EC e EM hanno mostrato le inibizioni maggiori.

I risultati ottenuti nell'ambito di questo studio suggeriscono la possibilità di utilizzare a livello sperimentale gli estratti sopra descritti come ingredienti attivi nella sintesi di biopolimeri per la produzione di materiali funzionalizzati per packaging alimentare, che garantiscano una migliore conservabilità del contenuto e al tempo stesso siano caratterizzati da una sostenibilità economica e soprattutto ambientale e una elevata tollerabilità per i consumatori. La sostenibilità dei nuovi prodotti sarebbe in tal caso dovuta non solo alla compatibilità con gli alimenti e con l'ambiente (materiali compostabili in conformità con la norma europea EN 13432), ma anche al processo produttivo basato sull'utilizzo di materiali ecologici provenienti da economia circolare.

Ringraziamenti

La pubblicazione è stata realizzata da ricercatrice con contratto di ricerca cofinanziato dall'Unione europea - PON Ricerca e Innovazione 2014-2020 ai sensi dell'art. 24, comma 3, lett. a), della Legge 30 dicembre 2010, n. 240 e s.m.i. e del D.M. 10 agosto 2021 n. 1062. Gli autori ringraziano il Ministero italiano dell'Università e della Ricerca (MUR), l'Università della Tuscia (Viterbo, Italia) e Bioricerche Srl (Castell'Azzara, Grosseto, Italia) per un finanziamento attribuito al Dr. Andrea Lombardi nell'ambito del DM 1061/ 2021 (Dottorato di Ricerca, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020).

Bibliografia

- ABAD, A.R.K.K., BARZINPOUR, F., PISHVAEE, M.S. (2023). Toward circular economy for pomegranate fruit supply chain under dynamic uncertainty: A case study. *Computers & Chemical Engineering*, 178, 108362.
- ACHAR, P.N., QUYEN, P., ADUKWU, E.C., SHARMA, A., MSIMANGA, H.Z., NAGARAJA, H., SREENIVASA, M.Y. (2020) Investigation of the Antifungal and Anti-Aflatoxigenic Potential of Plant-Based Essential Oils against *Aspergillus flavus* in Peanuts. *J. Fungi*, 6, 383.
- ARAÚJO, A.R., ARAÚJO, A.C., REIS, R.L., PIRES, R.A. (2021). Vescalagin and castalagin present bactericidal activity toward methicillin-resistant bacteria. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 7(3), 1022-1030.
- CAMPO, M., PINELLI, P., ROMANI, A. (2016). Hydrolyzable tannins from sweet chestnut fractions obtained by a sustainable and eco-friendly industrial process. *Natural product communications*, 11(3), 1934578X1601100323.
- CÔTÉ, J., CAILLET, S., DOYON, G., SYLVAIN, J.F., LACROIX, M. (2010) Bioactive compounds in cranberries and their biological properties. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 50, 666-679.
- FUNATOGAWA, K., HAYASHI, S., SHIMOMURA, H., YOSHIDA, T., HATANO, T., ITO, H., HIRAI, Y. (2004) Antibacterial activity of hydrolyzable tannins derived from medicinal plants against *Helicobacter pylori*. *Microbiol. Immunol.*, 48, 251-261.
- GOSSET-ERARD, C., ZHAO, M., LORDEL-MADELEINE, S., ENNAHAR, S. (2021). Identification of punicalagin as the bioactive compound behind the antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) peels. *Food Chemistry*, 352, 129396.
- KÄHKÖNEN, M.P., HOPIA, A.I., HEINONEN, M. (2001). Berry phenolics and their antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(8), 4076-4082.
- KEE, S.H., CHIONGSON, J.B.V., SALUDES, J.P., VIGNESWARI, S., RAMAKRISHNA, S., BHUBALAN, K. (2021). Bioconversion of agro-industry sourced biowaste into biomaterials via microbial factories—A viable domain of circular economy. *Environmental Pollution*, 271, 116311.
- KINAY, P., MANSOUR, M.F., GABLER, F.M., MARGOSAN, D.A., SMILANICK, J.L. (2007). Characterization of fungicide-resistant isolates of *Penicillium digitatum* collected in California. *Crop Protection*, 26(4), 647-656.

- LOMBARDI, A., CAMPO, M., VIGNOLINI, P., PAPALINI, M., PIZZETTI, M., BERNINI, R. (2023). Phenolic-Rich Extracts from Circular Economy: Chemical Profile and Activity against Filamentous Fungi and Dermatophytes. *Molecules*, 28(11), 4374.
- LOMBARDI, A., FOCHETTI, A., VIGNOLINI, P., CAMPO, M., DURAZZO, A., LUCARINI, M., BERNINI, R. (2022). Natural active ingredients for poly (lactic acid)-based materials: State of the art and perspectives. *Antioxidants*, 11(10), 2074.
- MASTROGIOVANNI, F., BERNINI, R., BASIRICÒ, L., BERNABUCCI, U., CAMPO, M., ROMANI, A., LACETERA, N. (2020). Antioxidant and anti-inflammatory effects of pomegranate peel extracts on bovine mammary epithelial cells BME-UV1. *Natural product research*, 34(10), 1465-1469.
- NAZARUDDIN, R., SENG, L.K., HASSAN, O., SAID, M. (2006). Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma cacao*) during fermentation. *Industrial Crops and Products*, 24(1), 87-94.
- PRAKASH, M., BASAVARAJ, B.V., MURTHY, K.C. (2019). Biological functions of epicatechin: Plant cell to human cell health. *Journal of functional foods*, 52, 14-24.
- RANJHA, M.M.A.N., SHAFIQUE, B., WANG, L., IRFAN, S., SAFDAR, M.N., MURTAZA, M.A., NADEEM, H.R. (2021). A comprehensive review on phytochemistry, bioactivity and medicinal value of bioactive compounds of pomegranate (*Punica granatum*). *Advances in Traditional Medicine*, 1-21.
- RITZ, C., BATY, F., STREIBIG, J.C., GERHARD, D. (2015). Dose-response analysis using R. *PloS one*, 10(12), e0146021.
- ROBLES-ALMAZAN, M., PULIDO-MORAN, M., MORENO-FERNANDEZ, J., RAMIREZ-TORTOSA, C., RODRIGUEZ-GARCIA, C., QUILES, J.L., RAMIREZ-TORTOSA, M. (2018). Hydroxytyrosol: Bioavailability, toxicity, and clinical applications. *Food Research International*, 105, 654-667.
- RODRIGUEZ-TUDELA, J.L., DONNELLY, J.P., ARENDRUP, M.C., ARIKAN, S., BARCHIESI, F., BILLE, J., VERWEIJ, P. (2009). Subcommittee on Antifungal Susceptibility Testing of the ESCMID European Committee for Antimicrobial Susceptibility Testing. EUCAST Technical Note on the method for the determination of broth dilution minimum inhibitory concentrations of antifungal agents for conidia-forming moulds. *Clinical Microbiology and Infection*, 15(1), 103-103.
- ROMANI, A., CAMPO, M., PINELLI, P. (2012). HPLC/DAD/ESI-MS analyses and anti-radical activity of hydrolyzable tannins from different vegetal species. *Food Chemistry*, 130(1), 214-221.

- ROMANI, A., CAMPO, M., LAGIOIA, G., SCARNICCI, M.C., PAIANO, A. (2020A). A sustainable approach to the re-use of biomass: Synergy between circular agroindustry and Biorefinery Models. *Industrial Symbiosis for the Circular Economy: Operational Experiences, Best Practices and Obstacles to a Collaborative Business Approach*, 165-179.
- ROMANI, A., CAMPO, M., URCIUOLI, S., MARRONE, G., NOCE, A., BERNINI, R. (2020B). An industrial and sustainable platform for the production of bioactive micronized powders and extracts enriched in polyphenols from *Olea europaea* L. and *Vitis vinifera* L. wastes. *Frontiers in Nutrition*, 7, 120.
- ROMANI, A., IERI, F., URCIUOLI, S., NOCE, A., MARRONE, G., NEDIANI, C., BERNINI, R. (2019). Health effects of phenolic compounds found in extra-virgin olive oil, by-products, and leaf of *Olea europaea* L. *Nutrients*, 11(8), 1776.
- ROMANI, A., SIMONE, G., CAMPO, M., MONCINI, L., BERNINI, R. (2021). Sweet chestnut standardized fractions from sustainable circular process and green tea extract: In vitro inhibitory activity against phytopathogenic fungi for innovative applications in green agriculture. *Plos one*, 16(2), e0247298.
- SINGLETON, V.L., ORTHOFER, R., LAMUELA-RAVENTÓS, R.M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.
- SIRK, T.W., BROWN, E.F., FRIEDMAN, M., SUM, A.K. (2009). Molecular binding of catechins to biomembranes: relationship to biological activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(15), 6720-6728.
- VISIOLI, F., CARUSO, D., PLASMATI, E., PATELLI, R., MULINACCI, N., ROMANI, A., GALLI, C. (2001). Hydroxytyrosol, as a component of olive mill waste water, is dose-dependently absorbed and increases the antioxidant capacity of rat plasma. *Free Radical Research*, 34(3), 301-305.
- YAN, B., CHEN, Z.S., HU, Y., YONG, Q. (2021). Insight in the recent application of polyphenols from biomass. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 753898.

Synergies between the agri-food sector and the cosmetic industry through circular economy: evidences from a literature review

Alice Mondello

University of Messina

Roberta Salomone

University of Messina

Giovanni Mondello

University of Messina

ABSTRACT

Sustainability goals are increasingly taken into consideration in all the economic sectors. The cosmetic industry is involved in the search of sustainable solutions aimed to reduce any negative environmental, economic and social impacts regarding the entire life cycle of its products. In this context, the scientific community has started to investigate the concept of Circular Economy (CE) as a way to achieve sustainability goals.

However, there is still a lack of information regarding the practical implementation of CE in the cosmetic industry. Thus, an analysis of the state of the art in this field is needed for providing an overview of CE practices and strategies which are or could be implemented in the cosmetic industry. Pursuing this aim, a systematic literature review is performed in order to identify and analyse studies in which potential CE strategies are applied in the cosmetic sector, and also to understand the role of the agri-food sector in this regard. In addition, the 4Rs principles are considered in order to analyse the characteristics of the proposed CE options. Scopus and Web of Science databases have been used for searching the scientific articles to be included in the analysis. A final sample of 58 articles was identified according to specific selection criteria. Results highlight that the majority of studies is focused on the valorisation of waste and by-products from the agri-food sector to be used in the formulation of cosmetics. Furthermore, a predominant importance of the principles reduce and recovery has been highlighted in the application of CE in cosmetic industry through agri-food sector.

KEYWORDS: circular economy; sustainability; cosmetic industry; agri-food; systematic literature review.

1 Introduction

The cosmetic industry is involved in the search of sustainable and natural alternatives for its products (McIntosh et al., 2018), due to the increasing pressure in terms of environmental, economic and social aspects (Cosmetics Europe, 2012).

The interest in sustainability and sustainable products is also due, on the one hand, to the increasing attention and demand of customers (Beerling, 2014) and, on the other, due to the increasing commitment of the European Commission (EC) in establishing directives aimed to push the transition towards sustainability in all the economic sectors and the entire society (EC, 2019).

One of the most important regulations published by the EC is the European Green Deal (EC, 2019), which introduces an industrial strategy that includes, among the others, the Circular Economy (CE) Action Plan (EC, 2019). The action plan is aimed to define a «sustainable products» policy (EC, 2019:7), promoting the need of reusable, durable and repairable products.

After these directives from EC, both companies and academics are increasingly taking into consideration how to develop sustainable solutions and products, investigating the concept of CE as a potential way for achieving this objective (e.g. Suárez-Eiroa et al, 2019; Geisssoerfer et al., 2017).

In literature, many definitions of CE are proposed, among which the ones of EC states that: «circular economy aims to maintain the value of products, materials and resources for as long as possible by returning them into the product cycle at the end of their use, while minimizing the generation of waste» (EC, 2015:2). In addition, the EC established a framework aimed to prevent and reduce the generation of waste (EC, 2008), in which EC sets 4Rs principles in compliance with the concept of CE, that are: reduce, reuse, recycle and recovery.

Thus, CE could support the cosmetic companies involved in the search of sustainable solutions for example for the formulation of products (e.g. Novara et al., 2022) or for the design of their packaging (e.g. Gatt and Refalo, 2022), but also for the overall transition to sustainability (e.g. Morea et al., 2021). However, CE could support also other economic sectors involved in the transition to sustainability, for example the agri-food ones, as pointed out by Scandurra et al. (2023).

The agri-food industry is searching solutions aimed to the reduction of its losses and waste, which represent a huge amount that annually consists of about 931 million tons (Morganti et al., 2022). Generally, the agri-food waste and by-products are discarded or used as animal feed (de Souza Silva et al., 2021), disposed in landfills or burnt (Del Rio Osorio et al.,

2021). In this context, CE could support the agri-food sector in the preservation of resources and the reduction of its losses and waste, also mitigating the related negative impacts (Scandurra et al., 2023).

In literature, many authors propose circular solutions for the transformation of agri-food waste and by-products into new resources which could also mitigate the related environmental impacts. For example, Del Rio Osorio et al. (2021) discuss the potential of agri-food by-products considering their high content of valuable compounds to be used as an input in other industries, such as the cosmetic ones.

In this context, CE practices could find a practical application through the cross-industries synergies. For example, it is interesting to note that many potential synergies between agri-food sector and cosmetic industry are already reported in the scientific literature (e.g. Del Rio Osorio et al., 2021; Faria-Silva et al., 2020).

Starting from the results emerging from a wider study carried out by the authors (still under development), it is interesting to delve deeper into the potential synergies between the agri-food and the cosmetic sectors. Thus, in this paper the results of a literature review aimed to provide an overview of circular practices and strategies emerging from synergies between the agri-food sector and the cosmetic industry is presented. Particularly, the aim of the study is to identify what and how synergies with the agri-food sector could support the implementation of circular practices in the cosmetic industry.

2 Methodology

The literature review performed in this study is carried out according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses guidelines (PRISMA) (Moher et al., 2009) for the definition of the sample of studies (Figure 1).

A systematic analysis of the sample is carried out pursuing the aim of the study of providing an overview of CE in the cosmetic industry. The systematic analysis (Khan et al., 2003) is aimed to provide a full vision of the analyzed topic defining the state of the art with reliable results and minimal bias.

The analysis aims to answer to the following research questions:

- What is the state of the art of circular economy in the cosmetic industry according to the scientific community?
- What synergies emerges with the agri-food sector that could support the practical implementation of circular economy in the cosmetic industry?

The search query is defined using two keywords, «cosmetic*» and «circular economy», pursuing the aim of collecting all the studies that explicitly take into consideration CE in the cosmetic sector. Then, the aim of this paper is to identify, within the selected sample, circular practices and strategies emerging from synergies between agri-food and cosmetic sectors sample.

The investigation of the query is carried out using the Scopus (SP) and Web of Sciences (WoS) Core Collection databases, focusing the search on the title, abstract and keywords. A time frame is not defined and the search is updated at the 31st January 2023.

This search strategy allows to obtain a total of 332 results, of which 188 are collected from SP and 144 from WoS. Then, some types of publication are excluded limiting the results to only the articles and reviews. More in details, the excluded results are: book chapters (n=20), conference papers (n=8), early access (n=5), meeting abstract (n=1), editorial (n=1).

After that, the sample is again limited to the results published in English (282) and also duplicates (n=125) and not-available studies (n=8) are excluded. The obtained sample is composed by 149 studies, for which abstract and text-full screening is performed according to specific exclusion criteria, that are: i) cosmetic application of CE is mentioned only in abstract, introduction or conclusion without any complete description in the study; ii) cosmetic application of CE is mentioned as potential, but without any complete description in the study; iii) cosmetic application and CE are mentioned in the study but discussed separately, without any connection; iv) the context of the study isn't in line with the research strategy, thus does not refer to CE in the cosmetic sector. According to these criteria, further studies are excluded (n=63) allowing to obtain 86 studies on CE in the cosmetic industry, that in details are 49 articles and 37 reviews. Then, the sample is further restricted to the 58 studies which report exchanges with the agri-food, that are 33 articles and 25 reviews, in order to identify the potential synergies between the agri-food sector and the cosmetic industry

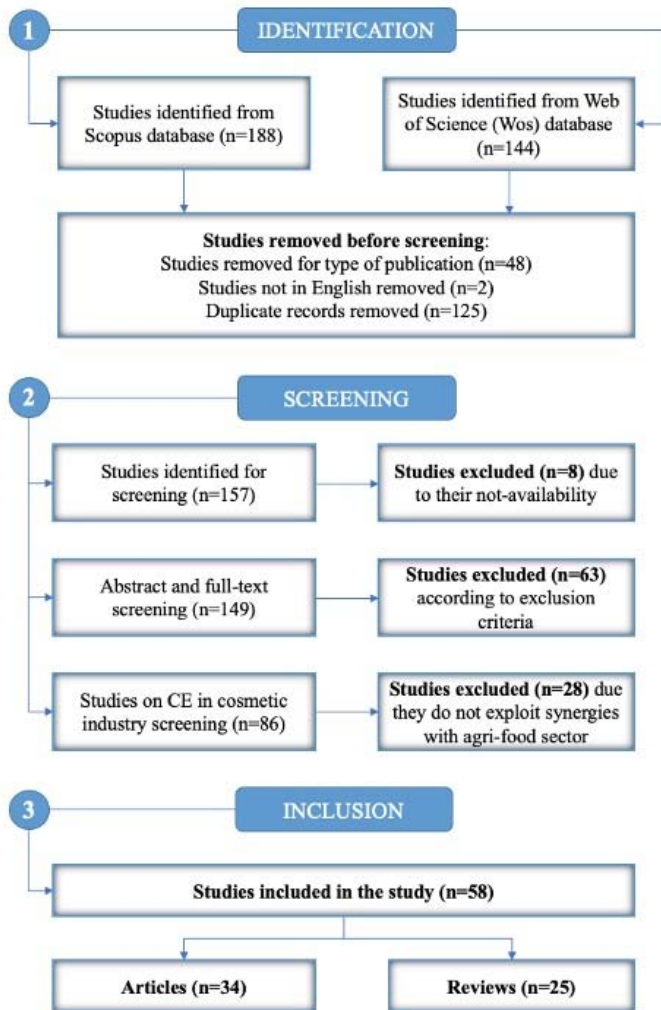


Figure 1 – Search strategy diagram (based on PRISMA guidelines)

The final sample is investigated with the analysis of the characterization of the circular practices as well as the synergies existing between the two sectors. More in details, the following elements are considered: a) the object of analysis, that refers to materials, substances or practices analyzed in the study; b) the research method, that refers to the techniques employed for the description of the circular practices; c) the typology of practice, that refers to the 4Rs principles which are classified according to

the EC framework established by the Directive 2008/98/CE (EC, 2008); d) the link with sustainability, considering the presence of an explicit reference to sustainability and its dimension and also analysing the level of contextualization of the concept based on three levels, that are: not mentioned, mentioned, argued.

Finally, in the present study, the attention is focused only on the studies which highlight synergies between the agri-food and the cosmetic sectors, that are a total of 58 studies among which 33 articles and 25 reviews.

3 Results and Discussion

The results are presented and discussed according to the characterization of circular practices, which exploit synergies between the agri-food sector and the cosmetic industry.

The systematic analysis allows to analyse the results in terms of circular practices specifically aimed at the input valorization of materials and substances to be used as ingredients in the formulation of cosmetic products, also considering the methods for their extraction and valorization in compliance with the CE principles.

The importance of input valorization is probably due to the high interest of cosmetic companies in finding sustainable alternatives for their ingredients in order to replace synthetic materials and to mitigate the environmental impacts and the effects to human health (e.g. Antunes et al., 2022; Gaspar et al., 2022).

The selected sample is composed by a total of 58 studies that propose the extraction and valorization of materials and substances of waste and by-products from the agri-food industry. In details, the studies mainly propose the valorisation of the agri-food waste and by-products to obtain valuable compounds and secondary raw materials (e.g. Chamorro et al., 2022; Morganti et al., 2022; Del Rio Osorio et al., 2021). For example, the study of Del Rio Osorio et al. (2021) analyses the use of many agri-food by-products (e.g., passion fruit seeds, grapeseed, industrial coffee waste, etc.) and of the relative extracted compounds, as ingredients in the formulation of cosmetic products, such as sunscreens and other protective products due to their antioxidant properties. Another example is given by the study of Chamorro et al. (2022), who discuss the valorization of different types of kiwi by-products for obtaining ecological pigments or other ingredients of cosmetic products. Furthermore, the study of Morganti et al. (2022) explicitly argues the important role of agri-food waste and by-products for obtaining new and sustainable ingredients and products. In

details, the authors discuss the valorization and extraction of natural ingredients and biopolymers to be used in green cosmetics (Morganti et al., 2022).

In addition, it is interesting to highlight the study of Faria-Silva et al. (2020) which explicitly discuss the convergence between food and cosmetics. The authors argue the potential of food-derived ingredients for adding value and certain benefits to the cosmetic products (Faria-Silva et al., 2020). The synergies between agri-food and cosmetic sectors bring two types of advantages: on one side, the beneficial effects, for example for health and skin (e.g. Silva et al., 2021; Faria-Silva et al., 2020), deriving from the integration of compounds extracted from agri-food products, by-products and waste in the cosmetic products; on the other, the large amount of food loss and waste produced annually by the agri-food industry could be reduced or eliminated through its valorization and transformation aimed to the consequent use in the cosmetic industry (e.g. Morganti et al., 2022; Del Rio Osorio et al., 2021).

In the analysed circular practices between the agri-food and the cosmetic sectors, the importance of chemical and biochemical analysis emerges. The systematic analysis of the sample shows that 29 out of the 58 studies that take into consideration the valorization of agri-food waste and by-products employ chemical and biochemical analyses. Generally, chemical and biochemical analysis are needed for the examination of the composition of materials and substances and of the methodologies employed for the extraction of high-added value compounds (e.g. Mellinas et al., 2022; Truzzi et al., 2022). In addition, the analysis of chemical composition of raw materials used as ingredients in the cosmetic products is fundamental for assessing the potential impact on health of the products (Morganti et al., 2022).

Overall, the studies mainly demonstrate the importance of a cross-sectoral intersection, which is needed for the practical implementation of CE.

The identified circular practices include strategies oriented to: i) the valorization of agri-food waste and by-products, discussing the related processes and/or technologies (e.g. Del Rio Osorio et al., 2021); ii) the extraction of compounds and the methodologies employed for this purpose, discussing how to obtain new raw materials, their characteristics and the most appropriate methodologies (e.g. Mellinas et al., 2022); iii) the transformation of materials and substances and the related processes, discussing how to re-valorize agri-food waste and by-products (e.g. Russo et al., 2021); iv) the evaluation of different processes of valorization and their impacts, discussing the appropriate tools for the implementation of the circular practices and assessing their environmental impacts (e.g. Novara et al., 2022).

These strategies are aimed to exploit synergies between the agri-

food and the cosmetic sectors, which are implemented also in compliance with the 4Rs principles.

Figure 2 summarizes the practices proposed by authors of the sample. In details, the outputs of agri-food industry could be valorized, extracted, transformed and evaluated with the aim of obtaining secondary raw materials to be used as inputs in the cosmetic industry.

In addition, the proposed strategies are linked to one or more 4Rs principles.

Figure 2 shows how secondary raw materials could be obtained through the implementation of different circular practices that are oriented to the reuse (R2), recycle (R3) and recovery (R4) from the output of the agri-food industry. In addition, these practices imply the reduction (R1) of raw materials used as input in the processes of the cosmetic industry.

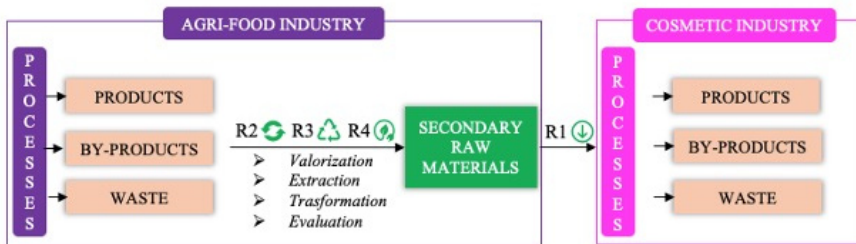


Figure 2 – Identified CE practices exploiting synergies between the agri-food and the cosmetic industries

Among the 4Rs principles, the Reduce (R1) and Recovery (R4) ones are the most argued in the studies. The Reduce (R1) principle refers to circular practices aimed to the improvement of resource efficiency by valorizing natural resources and by-products, but also to the reduction of waste and the cost of its disposal (e.g. Gaspar et al., 2022; Kumar et al., 2021). The Recovery (R4) principle refers to circular practices aimed to the recovery of raw materials and, in some cases, also energy, by extracting compounds from the agri-food waste and by-products (e.g. Bojorges et al., 2022; Dubois et al., 2022). In addition, some studies propose circular practices related to both the principles and aimed to both the objectives previously described (e.g. Naviglio et al., 2022; Cairone et al., 2022). Finally, also the principles of Reuse (R2) and Recycle (R3) are discussed by authors, which propose circular practices aimed to obtain secondary raw materials to be used as ingredients in the formulation of cosmetic products through the valorization of the agri-food waste and by-products (e.g. Chamorro et al., 2022; Panwar et al., 2021).

In addition to the discussion of 4Rs principles, about 86% of studies explicitly address the proposed practices to sustainability and its dimensions. Indeed, many studies argue the relationship between CE and sustainability (n=21), while others only mention it (n=21). However, the majority of studies is focused on the general concept of sustainability (n=34). Indeed, some are focused on the link with the environmental dimension of sustainability (n=7), with the environmental and the economic ones (n=6), or with the economic ones (n=1). The remaining two studies only refer to sustainability reporting the term among the article's keywords.

Overall, also the studies that mention sustainability without explicitly discussing its dimensions, implicitly include economic and/or environmental issues. For example, the study of Novara et al. (2022) argues the general concept of sustainability but discusses economic and environmental aspects, such as the reduction of the use of both resources and energy and also the reduction of Carbon Footprint (CF). It is interesting to note that no study refers to the social dimension of sustainability.

Figure 3 reports the relations among research methods, typology of the proposed strategies, 4Rs principles (R1: reduce; R2: reuse; R3: recycle; R4: recovery), level of contextualization of sustainability and the focus on its dimensions.

The employed research methods are represented by different colors: the green represents case-studies, the purple represents reviews.

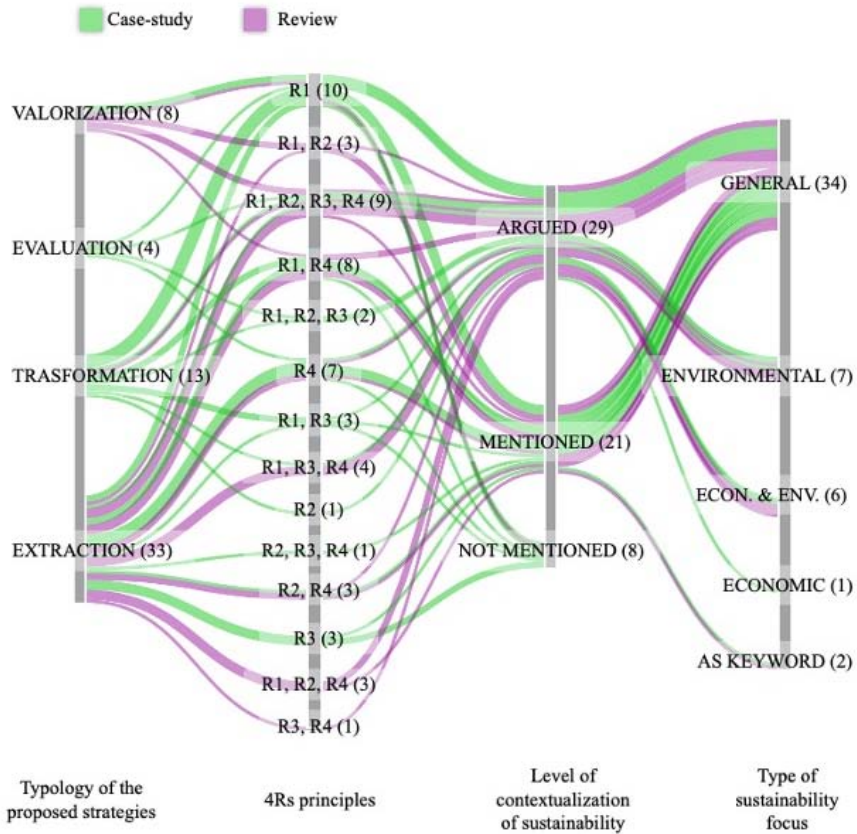


Figure 3 – Relations among research methods, typology of the proposed strategies, 4Rs principles, level of contextualization of sustainability and focus on its dimensions

It is interesting to note that the studies which refer to all the 4Rs principles include strategies of valorization, evaluation, transformation and extraction. In addition, in all these studies the concept of sustainability is at least mentioned or argued. This result demonstrates that the implementation of circular practices in compliance with the 4Rs principles could be also considered sustainable and find application with the different strategies that exploit the synergies between the two analyzed sectors.

However, the majority of studies propose strategies related to the extraction that are linked to almost all the combinations of the 4Rs principles discussed by the authors of the sample. After that, strategies of trans-

formation are proposed in some studies that represent a significant part of the sample, specifically almost all case-studies, while only one is a review. Among these, only two case-studies do not mention sustainability.

Overall, these results show that many synergies could be explored between the agri-food and the cosmetic sectors in compliance with one or more 4Rs principles. In addition, the related practices are almost all related to sustainability and its dimensions.

4 Conclusions

The present study aimed at providing an overview of the circular practices and experiences which are or could be applied in the cosmetic industry exploiting the synergies with the agri-food sector. Pursuing this aim, a systematic review is carried out. The analysis allowed to identify 58 studies, that discuss the synergies between the two considered sectors; they were considered in order to answer to the defined research question.

The academic research on CE in the cosmetic industry covers different areas of interest, implying an interdisciplinary and cross-sectoral interest in the topic. The systematic analysis showed the connection between the cosmetic industry and the agri-food sector in the implementation of circular practices. The results are focused on the input valorization of materials and substances obtained from the agri-food sector to be used as ingredients in the formulation of cosmetic products. More in details, many synergies can be found due to the huge amount of agri-food waste and by-products that could be valorized, also through the extraction of high-added value compounds, to obtain secondary raw materials to be used as ingredients in the formulation of cosmetic products. In addition, the chemical and biochemical analysis has an important role in the achievement of these synergies, mainly due to the need to identify the characteristics and properties of materials and substances, but also the methodologies of extraction of compounds from the agri-food waste and by-products.

The identified circular practices include strategies of valorization, extraction, transformation and evaluation, all of which are aimed to exploit synergies between the agri-food and the cosmetic sectors.

All the circular practices analysed refer to the 4Rs principles, especially the Reduce (R1) and Recovery (R4) ones, but overall, all of them are explicitly discussed, together or separately, in almost all the studies of the sample. In addition, almost all the studies link the circular practices with the concept of sustainability and its dimensions.

The study presents some limitations mainly due to the fact that this analysis is part of a wider study and the search query applied aimed to col-

lect all the studies that explicitly refer, without any distinction, to CE in the cosmetic industry. Thus, the potential synergies between the two sectors need a further exploration with future research that should be oriented specifically on the relation between them.

Acknowledgements

The authors acknowledge the support of the Italian Ministry of Education, PON scholarship Green n°1, CUP J35F21003690007.

References

- ANTUNES F., MOTA I.F., DA SILVA BURGAL J., PINTADO M., COSTA P.S. (2022) A review on the valorization of lignin from sugarcane by-products: From extraction to application. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 166, 106603. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106603>.
- BEERLING, J. (2014) Green formulations and ingredients. In: Sahota, A. (Ed.), *Sustainability: How the Cosmetics Industry Is Greening up*. John Wiley & Sons, London.
- BOJORGES H., FABRA M.J., LÓPEZ-RUBIO A., MARTÍNEZ-ABAD A. (2022) Alginate industrial waste streams as a promising source of value-added compounds valorization. *Science of the Total Environment*, Vol. 838, 156394. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156394>.
- CAIRONE F., CESA S., CIOGLI A., FABRIZI G., GOGGIAMANI A., IAZZETTI A., DI LENA G., SANCHEZ DEL PULGAR J., LUCARINI M., CANTÒ L., ZENGIN G., ONDREJÍČKOVÁ P. (2022) Valorization of By-Products from Biofuel Biorefineries: Extraction and Purification of Bioactive Molecules from Post-Fermentation Corn Oil, *Foods*, Vol. 11, 153. <https://doi.org/10.3390/foods11020153>.
- CHAMORRO F., CARPENA M., FRAGA-CORRAL M., ECHAVE J., RIAZ RAJOKA M.S., BARBA F.J., CAO H., XIAO J., PRIETO M.A., SIMAL-GANDARA J. (2022) Valorization of kiwi agricultural waste and industry by-products by recovering bioactive compounds and applications as food additives: A circular economy model. *Food Chemistry*, Vol. 370, 131315. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131315>.
- COSMETICS EUROPE. (2012) Good Sustainability Practice (GSP) for the cosmetics industry. Available online: https://www.cosmeticseurope.eu/files/4214/6521/4452/GSP_Brochure.pdf.
- DEL RIO OSORIO L.L., FLÓREZ-LÓPEZ E., GRANDE-TOVAR C.D. (2021) The potential of selected agri-food loss and waste to contribute to a circular economy: Applications in the food, cosmetic and pharmaceutical industries. *Molecules*, Vol. 36, 515. <https://doi.org/10.3390/molecules26020515>.
- DE SOUZA SILVA A.P., ROSALEN P.L., COSTA DE CAMARGO A., LAZARINI J.G., ROCHA G., SHAHIDI F., FRANCHIN M., DE ALENCAR S.M. (2021) Inajà oil processing by-product: a novel source of bioactive catechins and procyanidins from a Brazilian native fruit. *Food Research International*, Vol. 144, 110353. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110353>.

- DUBOIS C., PLAINFOSSÉ H., DELCROIX M., TRINEL M., VERGER-DUBOIS G., AZOULAY S., BURGER P., FERNANDEZ X. (2022) Anti-Aging Potential of a *Rosa centifolia* Stem Extract with Focus on Phytochemical Composition by Bioguided Fractionation. *Chemistry & Biodiversity*, Vol. 19, e202200158. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200158>.
- EUROPEAN COMMISSION (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal of the European Union. Update of 05/07/2018. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0098-20180705&from=EN>.
- EUROPEAN COMMISSION (2015). Closing the Loop - An EU Action Plan for the Circular Economy. COM(2015) 614 Final. European Union, Brussels.
- EUROPEAN COMMISSION (2019) Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019 COM(2019) 640 final.
- FARIA-SILVA C., ASCENSO A., COSTA A.M., MARTO J., CARVALHEIRO M., RIBEIRO H.M., SIMÕES S. (2020) Feeding the skin: A new trend in food and cosmetics convergence. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 95, pp. 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.015>.
- GASPAR A.L., GASPAR A.B., CONTINI L.R.F., SILVA M.F., CHAGAS E.G.L., BAHÚ J.O., CONCHA V.O.C., CARVALHO R.A., SEVERINO P., SOUTO E.B., LOPES P.S., YOSHIDA C.M.P. (2022) Lemongrass (*Cymbopogon citratus*)-incorporated chitosan bioactive films for potential skincare applications. *International Journal of Pharmaceutics*, Vol. 628, 122301. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2022.122301>.
- GATT I.J., REFALO P. (2022) Reusability and recyclability of plastic cosmetic packaging: a life cycle assessment. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, Vol. 15, 200098. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200098>.
- GEISSDOERFER M., SAVAGET P., BOCKEN N.M.P., HULTINK E.J. (2017) The circular economy – a new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, Vol. 143, 757-768. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>.
- KHAN K.S., KUNZ R., KLEIJNEN J., ANTES G. (2003) Five steps to conducting a systematic review. *Journals of the royal society of medicine*, Vol. 96, No. 3, pp. 118-121.

- KUMAR H., BHARDWAJ K., SHARMA R., NEPOVIMOVA E., CRUZ-MARTINS N., DHANJAL D.S., SINGH R., CHOPRA C., VERMA R., ABD-EL-SALAM K.A., TAPWAL A., MUSILEK K., KUMAR D., KUČA K. (2021) Potential usage of edible mushrooms and their residues to retrieve valuable supplies for industrial applications. *Journal of Fungi*, Vol. 7, No. 6, 427 <https://doi.org/10.3390/jof7060427>.
- MCINTOSH K., SMITH A., YOUNG L.K., LEITCH M.A., TIWARI A.K., REDDY C.M., O'NEIL G.W., LIBERATORE M.W., CHANDLER M., BAKI G. (2018) Alkenones as a promising green alternative for waxes in Cosmetics and Personal Care Products. *Cosmetics*, Vol. 5, No. 2, 34. [doi:10.3390/cosmetics5020034](https://doi.org/10.3390/cosmetics5020034).
- MELLINAS C., SOLABERRIETA I., PELEGRÍN C.J., JIMÉNEZ A., GARRIGÓS M.C. (2022) Valorization of Agro-Industrial Wastes by Ultrasound-Assisted Extraction as a Source of Proteins, Antioxidants and Cutin: A Cascade Approach. *Antioxidants*, Vol. 11, 1739. <https://doi.org/10.3390/antiox11091739>.
- MOHER D., LIBERATI A., TETZLAFF J., ALTMAN D.G., The PRISMA Group (2009) Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.*, Vol. 6, No. 7, 1000097. DOI: 10.1371/journal.pmed.1000097.
- MOREA D., FORTUNATI S., MARTINIELLO L. (2021) Circular economy and corporate social responsibility: towards an integrated strategic approach in the multinational cosmetics industry. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 315, 128232. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128232>.
- MORGANTI P., GAO X., VUKOVIC N., GAGLIARDINI A., LOHANI A., MORGANTI G. (2022) Food Loss and Food Waste for Green Cosmetics and Medical Devices for a Cleaner Planet. *Cosmetics*, Vol. 9, 19. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9010019>.
- NAVIGLIO D., MONTESANO D., CIARAVOLO M., SAVASTANO A., NEBBIOSO V., TOSCANESI M., PICCIRILLO A.M., GALLO M. (2022) Waste Recovery and Circular Economy: A Resource from Orange Peels Deriving from Production of Orange Juice, *Macromolecular Symposia*, Vol. 404, 2100287. <https://doi.org/10.1002/masy.202100287>.
- NOVARA A., SAMPINO S., PATERNÒ F., KEESSTRA S. (2022) Climate smart regenerative agriculture to produce sustainable beauty products: the case study of Snail Secretion Filtrate (LX360). *Sustainability*, Vol. 14, 2367. <https://doi.org/10.3390/su14042367>.
- PANWAR D., SAINI A., PANESAR P.S., CHOPRA H.K. (2021) Unraveling the scientific perspectives of citrus by-products utilization: Progress towards circular economy. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 111, pp. 549-562. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.018>.

- SCANDURRA F., SALOMONE R., CAEIRO S., GULOTTA T.M. (2023) The maturity level of the agri-food sector in the circular economy domain: a systematic literature review. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 100, 107079. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107079>.
- SILVA A.M., COSTA P.C., DELERUE-MATOS C., LATOCHA P., RODRIGUES F. (2021) Extraordinary composition of *Actinidia arguta* by-products as skin ingredients: a new challenge for cosmetic and medical skin-care industries. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 116, pp. 842-853.
- SUÁREZ-EIROA B., FERNÁNDEZ E., MÉNDEZ-MARTÍNEZ G., SOTO-OÑATE D. (2019) Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 214, pp. 952-961. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.271>.
- TRUZZI E., CHAOUCH M.A., ROSSI G., TAGLIAZUCCHI L., BERTELLI D., BENVENUTI S. (2022) Characterization and Valorization of the Agricultural Waste Obtained from *Lavandula* Steam Distillation for Its Reuse in the Food and Pharmaceutical Fields. *Molecules*, Vol. 27, 1613. <https://doi.org/10.3390/molecules27051613>.
- VAN ECK, N.J., L. WALTMAN. 2010. Software Survey: VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping. *Scientometrics*, Vol. 84, No. 2, pp. 523-538. doi:10.1007/s11192-009-0146-3.

Blockchain based solutions for food traceability: a scoping review

Irina Gorelova

Sapienza University of Rome

Francesco Bellini

Sapienza University of Rome

Marco Ruggeri

Sapienza University of Rome

Fabrizio D'Ascenzo

Sapienza University of Rome

ABSTRACT

Il dibattito sulla tracciabilità alimentare è cresciuto nell'ultima decade come conseguenza della maggior ricerca della sicurezza alimentare, dell'autenticità dei cibi e come risposta ai problemi legati alla qualità (Bai and Gong, 2017). Questo studio svolge una scoping review delle tecnologie basate sulla blockchain nel campo della tracciabilità alimentare. La ricerca valuta l'attuale stato della letteratura sull'argomento e identifica gli attuali gaps della ricerca attraverso i driver della tracciabilità alimentare. I risultati della ricerca mostrano che, mentre le soluzioni tecniche per la tracciabilità alimentare stanno diventando maggiormente complesse e molteplici, la ricerca basata sulla blockchain è attualmente focalizzata solo su un numero limitato di drivers di tracciabilità. I drivers della tracciabilità alimentare che sono meno utilizzati dai ricercatori in letteratura possono diventare una possibile direzione per i prossimi studi sulle tecnologie blockchain per la tracciabilità alimentare. Questo articolo è uno dei primi studi ad esaminare la tematica delle applicazioni della tecnologia blockchain per la tracciabilità alimentare attraverso i drivers della tracciabilità alimentare. Lo studio fornisce uno spunto per l'approfondimento della tematica trattata.

ABSTRACT

The discussion on food traceability has arisen in the last decades in response to growing food safety, authenticity and quality issues (Bai and Gong, 2017). The present study conducts a scoping review of blockchain-based technologies in the food traceability domain. The research evaluates the current state of scientific literature on the topic and identifies the current research gaps through the prism of food traceability drivers. The outcomes of the research show that while the technical solutions for food traceability are becoming more complex and diverse, blockchain research is currently only focused on a relatively limited range of traceability drivers. The food

traceability drivers that are less reflected by scholars in the studied literature can become a possible direction for further development of blockchain technologies for food traceability. This paper is one of the first attempts to examine the issues of blockchain technology application for food traceability in the contest of food traceability drivers; it provides a field for discussion on the topic under investigation.

KEYWORDS: blockchain; tracciabilità alimentare/food traceability; driver della tracciabilità alimentare/food traceability drivers; filiera alimentare/food supply chain; management della filiera alimentare/food supply chain management; scoping review.

1 Introduction

Food traceability is “The ability to follow the movement of a feed or food through specified stage(s) of production, processing and distribution” (ISO, 2005). The discussion on food traceability has arisen in the last decades in response to growing food safety, authenticity and quality issues (Bai and Gong, 2017). This concept is directly connected to the management of Food Supply Chains (FSCs). FSCs refer to the sequence of interconnected processes that describes how food from a primary production reaches a final consumer; these processes include aggregation, processing, distribution, consumption and disposal (FAO, 2021). As FSCs become more globalized, product traceability is becoming more complex (Kumperščak et al., 2019). Continuous changes in consumer preferences, inconsistencies and gaps in national regulations, standardization and requirements, insufficient records, lack of digitalization of processes are among the issues of food traceability execution (Galvez et al., 2018; Nurgazina et al., 2021). So, growing challenges in the food and agricultural industries due to the introduction of technologies are inevitable (Reardon and Barrett, 2000).

In order to deal with the increasing complexity of food traceability, blockchain technologies have been recently applied (Creydt and Fischer, 2019; Astill et al., 2019). Blockchain technology was established in 2008 and was primarily used in crypto currencies, but in the following years it extended its possible applications to various industries. Blockchain is a distributed ledger and has many potential applications; this technology could be used for any type of data exchange, for example for payment or property rights tracking etc.; each action is captured in the block and the data is distributed over many nodes that make the system transparent; safer and more reliable (Kamilaris et al., 2019). Blockchain technologies applied for FSC can enhance its efficiency and transparency, reduce costs, have a positive

impact positively on all logistic processes, and enhance product safety and security (Cole et al., 2019; Tijan et al., 2019). Blockchain solutions, being based on decentralized and immutable technology, improve the tracking, transporting and selling processes of products (Awwad et al., 2018; Hong et al., 2021); however, several downsides of this technology, such as the possibility of human error, remaining lack of trust to the technology, willingness to pay and some other remain (Rogerson and Parry, 2020). Implementation of blockchain technologies in FSCs has secondary potential benefits, such as better company recognition due to improved visibility and traceability of products and better stakeholder engagement (Ray et al., 2019); it also provides economic benefits in terms of profits and/or ROI (Stranieri et al. 2021), positively impacts consumers' retailer choice (Garaus and Treiblmaier, 2021). The stakeholders of FSCs tackling food safety have been using blockchain technologies for some years now (for example, an IBM and Walmart collaboration started in 2016) (Kamath, 2018).

Food traceability drivers (FTDs) were recently studied by several scholars (Haleem et al., 2019; Itzios et al., 2017; Patidar et al., 2021). These drivers enable the process of traceability implementation in FSCs. FTDs could be defined as "the resources, processes, conditions, and benefits that are vital for the implementation of a traceability system in the FSC" (Haleem et al., 2019).

This study conducts a scoping literature review of blockchain technologies for food traceability and evaluates the current state of scientific literature on the topic throughout the analysis of the FTDs present in the selected scholarly papers. The study provides evidence on the FTDs leveraged by the blockchain technologies presented in the literature and current research gaps in the topical discussion.

The paper is organized as follows. Section 2 provides explanation of the methodology applied to the study. Results and discussion are presented in the Section 3, where the blockchain-based solutions studied in the scientific literature are presented through the prism of the FTDs. Finally, conclusions are presented in the Section 4.

2 Research Methodology

The research methodology adopted for this study is a scoping review, a method initially introduced by Arksey and O'Malley (2005). A scoping review deals with broad thematic areas and provides a qualitative synthesis of the retrieved literature and identifies research gaps in the plethora of academic literature (Arksey and O'Malley, 2005; Brien et al. 2010; Arnautu and Dagenais, 2021). Following the methodological frame-

work of Arksey and O'Malley (2005), a scoping review comprises five fundamental stages represented in the figure 1.

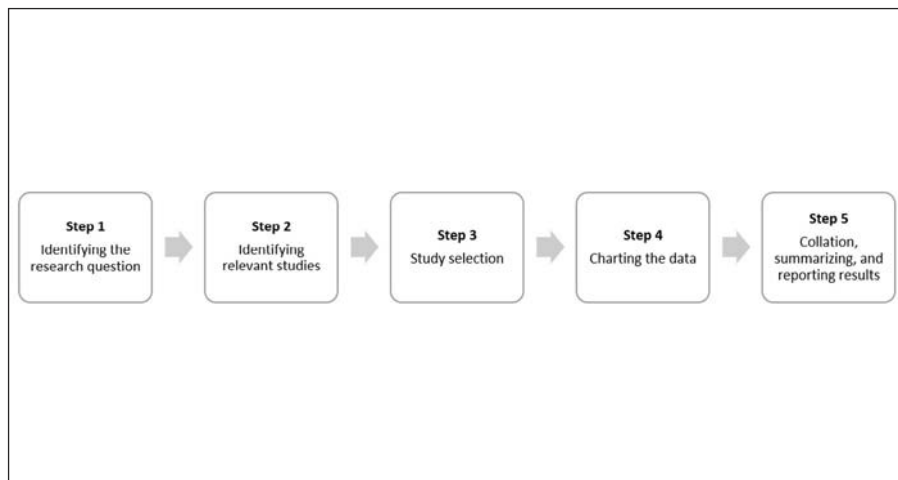


Figure 1 – The research method (Arksey and O'Malley, 2005)

After the formulation of the research questions of the present study (*Step 1. Identifying the research questions*) the authors proceeded to the identification of the relevant literature following inclusion criteria (*Step 2. Identifying relevant studies*) presented in table 1.

Inclusion criteria	Detailed description
Publication period	2016-2022
Literature search databases	Scopus, Web of Science
Language	English

Table 1 – Inclusion criteria

In the third step (*Step 3. Study selection*) we conducted the selection of the relevant literature according to the following keyword combinations presented in table 2:

Literature search databases	Keyword combinations
Scopus	(TITLE-ABS-KEY (“blockchain”) AND TITLE-ABS-KEY (“food traceability”)) (TITLE-ABS-KEY (“blockchain”) AND TITLE-ABS-KEY (“food”) AND TITLE-ABS-KEY (“traceability”))
Web of Science	(blockchain (title) or blockchain (abstract) or blockchain (author keywords)) AND (food traceability (title) or food traceability (abstract) or food traceability (author keywords)) (blockchain (title) or blockchain (abstract) or blockchain (author keywords)) AND (food (title) or food (abstract) or food (author keywords)) AND (traceability (title) or traceability (abstract) or traceability (author keywords))

Table 2 – Keyword combinations

Step four (*Step 4. Charting the data*) of the scoping review included preliminary reading of all the abstracts in order to guarantee that the retrieved literature is related to the topics of the development of blockchain-based solutions in the food sector. After this stage the remaining 145 papers were carefully studied in order to retrieve pertinent thematic data.

At the final stage (*Step 5. Collation, summarizing, and reporting results*) the characteristics of the retrieved literature and results of the research related to the FTDs in the discussion on the blockchain solutions for food traceability were analyzed and reported, future research opportunities were provided. The results of the research are presented in the next paragraph.

Figure 2 provides the number of papers analyzed during the selection process.

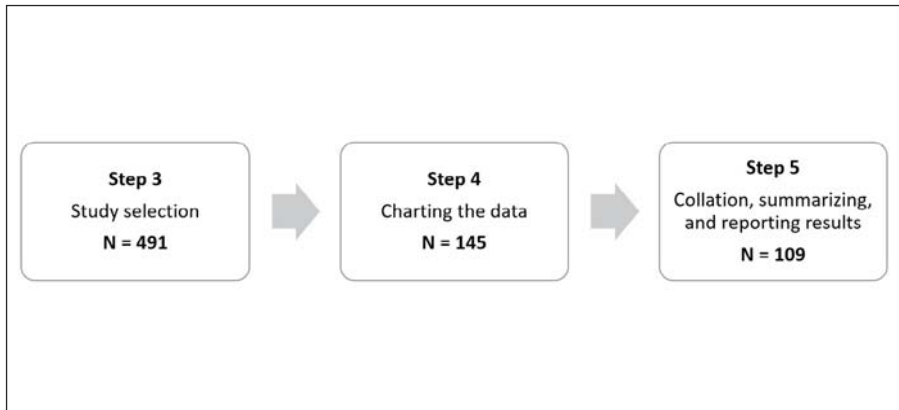


Figure 2 – Number of papers analyzed

3 Results and Discussion

3.1. Literature characteristics

Figure 3 depicts the chronological distribution of scientific articles retrieved for this study, starting from the year 2016. The graphical representation shows that the exploration of blockchain technologies in the context of food supply chains began relatively recently, with its inception in 2016. However, it is evident from the graph that this field has witnessed rapid and robust development in the following years.

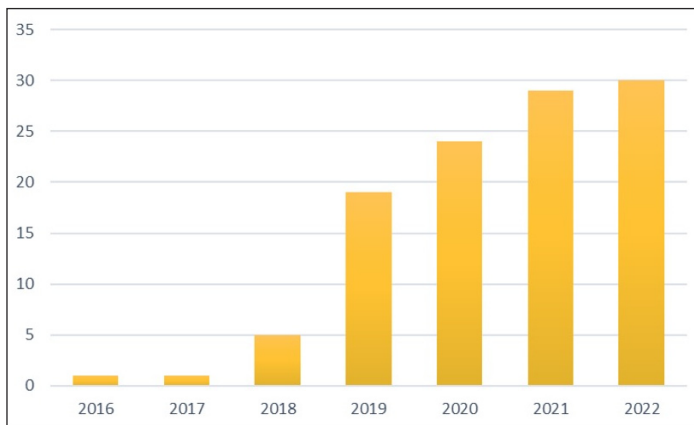


Figure 3 – Distribution by years of publication

Figure 4 illustrates the geographical distribution of studies according to their originating countries. The graph represents the countries that have made at least three contributions to the field. It is evident from the graphical representation that China stands out as the main contributor to research in the domain of blockchain technology for enhancing FSC traceability. Following closely behind, India and Italy take the positions of second- and third-largest contributors in the field respectively. Additionally, the scientific literature includes participation from various European Union member states, including Spain, Greece, France, Portugal, Austria, Sweden, and Croatia. In total, the member states of the European Union collectively contribute to nearly one third of the research body in this field.

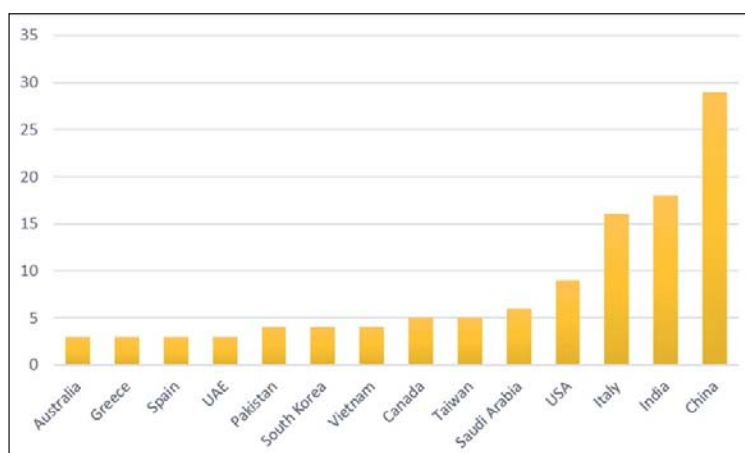


Figure 4 – Distribution of the articles by country

In the following table (Table 3), we present an overview of the most frequently used keywords within the examined literature, ranked from 1 to 10. Beyond serving as the primary search terms for retrieving pertinent literature, these keywords are closely linked to different dimensions of blockchain technologies and the issues that need resolution through the implementation of blockchain technologies. The retrieved keywords embrace blockchain-related areas such as food safety, product provenance, and enhanced transparency.

Word combination	Frequency	%	Rank
blockchain	95	86,89	1
traceability	43	39,34	2
supply chain	38	34,43	3
food supply chain	35	32,11	4
smart contract	25	22,95	4
food safety	23	21,31	5
food traceability	23	21,31	6
Internet of Things (IoT)	16	14,75	7
Ethereum	13	11,48	8
Industry 4.0	7	6,56	9
Radio Frequency Identification (RFID)	7	6,56	9
supply chain management	7	6,56	9
traceability system	7	6,56	9
transparency	7	6,56	9
blockchain technology	5	4,92	10
distributed ledger technologies	5	4,92	10
Hyperledger	5	4,92	10
Hyperledger Fabric	5	4,92	10
IPFS	5	4,92	10
provenance	5	4,92	10
smart farming	5	4,92	10
supply chains	5	4,92	10

Table 3 – Distribution of the keywords by frequency

3.2 Blockchain technologies and food traceability drivers

In order to evaluate the contribution of blockchain technologies to the food traceability the authors studied the blockchain technologies for food traceability discussed through the prism of the food traceability drivers (FTDs). FTDs were recently studied by several scholars (Haleem et al., 2019; Itzios et al., 2017; Patidar et al., 2021). These drivers enable the pro-

cess of traceability implementation in FSCs. FTDs could be defined as “the resources, processes, conditions, and benefits that are vital for the implementation of a traceability system in the FSC” (Haleem et al., 2019). Patidar et al. (2021) have identified sixteen FTDs by means of literature review supported by expert’s opinion, and then the priority among drivers was given. The authors of the present study took as the basis recent findings by Patidar et al. (2021) and by means of coding process examined how the FTDs are reflected in the retrieved literature.

In order to conduct the research, we reframed the FTD in terms of its’ application in the blockchain technology domain:

Food Safety and Quality: the literature chosen for this driver implies the importance of food safety and quality maintenance as one of the main benefits (or a main goals) of the blockchain solutions aimed at the improvement of food traceability;

Food Waste/ Food Loss: the studies that aim to reduce food waste and loss by implementing blockchain technologies for food traceability were included in this selection;

Information Quality and Sharing: for this driver, we collected literature that reflects the importance of information quality and sharing in terms of its visibility, transparency, accuracy, and completeness across the FSC ecosystem as one of the main goals of the implementation of blockchain technologies in order to provide an efficient, reliable, and effective tool for food traceability;

Health and Wellbeing Standards: health and well-being standards are a critical aspect of ensuring the safety and quality of food products throughout the supply chain. The blockchain solutions that help promote standards designed to safeguard the health of consumers and promote responsible production practices were included in this driver. The studies aimed at increasing the sustainability characteristics of the FSC were also included in this selection;

Information Automational Characterisitcs: importance of receiving and transmitting information between the stakeholders of the FSC is one of the critical issues of blockchain technology implementation. The studies that propose solutions for developing long-lasting trust among the stakeholders in the ecosystem, making it reliable and traceable, were included in his selection;

Adoption of Industry 4.0 Key Technologies: blockchain technologies represent an inevitable component of Industry 4.0 technologies, contributing to the establishment of traceability systems and driving forward its digitalization. The nature of the present study presupposes that all the extracted articles respect this driver; however, the authors of the manuscript came to an agreement to leave it in the selection in order to provide a whole picture of FTDs and blockchain solutions accessed for this study.

Regulations: introduction of traceability in the FSC is often a necessary requirement in many countries due to regulatory aspects; studies aimed at the facilitation of operational examinations on the excellence of the products in FSC by controlling authorities by means of blockchain technologies were collected for this driver;

Informational Transformational Characteristics: the studies presented the blockchain solutions focused on creating business value in terms of brand enhancement through the implementation of traceability to the FSC, form the core of this sample;

Certification: certification helps build trust among consumers and trace the provenance of the goods; this driver includes the blockchain solutions that addressed certification issues in the FSC by providing transparency, traceability, and authenticity;

Animal Welfare: blockchain technologies can play a significant role in improving animal welfare, particularly in the context of sustainable livestock farming. Blockchain solutions may provide transparency into the sourcing, breeding, and treatment of animals, so consumers can access reliable information about the conditions in which animals are raised. The studies that had the aim of providing this service were included in this driver;

Consumer Awareness: blockchain technology solutions that empower consumers with access to comprehensive, trustworthy, and real-time information about the food they consume were included in this selection;

Supply Chain Process Management: the studies that correspond to this driver present blockchain solutions for enhancing food supply chain process management by providing transparency, security, and automation, thereby increasing food safety and reducing product recall costs;

Agri-Terrorism: blockchain solutions with the aim of helping mitigate the impact of deliberate efforts to create contamination in the FSC were included in this selection;

Production Scheduling and Optimization: for this driver, we collected the literature on blockchain-based solutions aimed at establishing the internal controls in the FSC in order to optimize and schedule the production process;

Market Protection: the studies that developed blockchain solutions for augmenting food authenticity and preventing food counterfeiting were chosen to illustrate this driver;

Competitive Advantage: the solutions that help demonstrate best practices or unique product features to the consumer were included in this selection. In case of our literature body, the only research was chosen, that aimed at the development of a local FSC as a niche in the food industry.

The results of the literature distribution by the FTDs are presented in the table 4.

FTD	Number of references	Corresponding literature
Adoption of Industry 4.0 Key technologies	109/109	Tian (2016); Tian (2017); Caro et al. (2018); Hao et al. (2018); Hong et al.(2018); Malik et al. (2018); Mao et al. (2018); Casino et al. (2019); Arena et al. (2019); Haroon et al. (2019); Huang et al. (2019); Lin et al. (2019); Arsyad et al. (2019); Baralla et al. (2019); Bordel et al. (2019); Mondal et al. (2019), Chan et al. (2019); Cong An et al. (2019); George et al. (2019); Gopalakrishnan and Behdad (2019); Kim et al. (2019); Liao and Xu (2019); Salah et al. (2019); Surasak et al. (2019); Tradigo et al. (2019); Wang et al. (2019); Chun-Ting et al. (2020); Cruz and da Cruz (2020); Alonso et al. (2020); Casino et al. (2020); Cui et al. (2020); Dong et al. (2020a); Dong et al. (2020b); Fang et al. (2020); Gao et al. (2020); Grecuccio et al. (2020); Hao et al. (2020); Jaiyen et al. (2020); Khan et al. (2020); Liu et al. (2020); Longo et al. (2020); Pooja et al. (2020); Pradana et al. (2020); Prashar et al. (2020); Shahid et al. (2020a); Shahid et al. (2020b); Qian et al. (2020); Wang et al. (2020); Yang et al. (2020); Zhang et al. (2020); Balamurugan et al. (2021); Baralla et al. (2021); Chen et al. (2021); Dey et al. (2021); Runzel et al. (2021); Wang et al. (2021); Lee et al. (2021); Shahbazi and Byun (2021); Son et al. (2021); Tayal et al. (2021); Zhang et al. (2021); Chen et al. (2021); Cocco and Mannaro (2021); Cocco et al. (2021); Ekawati et al. (2021); Jannat et al. (2021); Jawale and Pawar (2021); Juan et al. (2021); Krishna et al. (2021); Ling et al. (2021)a; Ling et al. (2021)b; Liu et al. (2021); Low et al. (2021); Patidar et al. (2021); Pawar et al. (2021); Shahzad and Zhang, (2021); Singh et al. (2021); Vo et al. (2021); Yi et al. (2021); Al-Rakhami et al. (2022); Cao et al. (2022); Castillo et al. (2022); Cena et al. (2022); Conti (2022); Ehsan et al. (2022); Fakhong et al. (2022); Gai et al. (2022); Khanna et al. (2022); Ktari et al. (2022); Kumaresh et al. (2022); Li et al. (2022); Marchese and Tomarchio (2022); Marchesi et al. (2022); Patel et al. (2022); Patro et al. (2022); Rambhia et al. (2022); Ramkumar et al. (2022); Sadayapillai and Kottursamy (2022); Sai Radha Krishna and Rekha (2022); Sambare et al. (2022); Sekuloska and Erceg (2022); Subashini and Hemavati (2022); Tasnim et al. (2022); Tsoukas et al. (2022); Valencia-Payan et al. (2022); Wang et al. (2022); Xu et al. (2022); Yakubu et al. (2022); Zhang et al. (2022)

<p>Information Quality and Sharing</p>	<p>61/109</p>	<p>Tian (2016); Tian (2017); Caro et al. (2018); Hao et al. (2018); Casino et al. (2019); Haroon et al. (2019); Lin et al. (2019); Arsyad et al. (2019); Baralla et al. (2019); Bordel et al. (2019); Mondal et al. (2019), Chan et al. (2019); Cong An et al. (2019); Chun-Ting et al. (2020); Liao and Xu (2019); Salah et al. (2019); Surasak et al. (2019); Tradigo et al. (2019); Wang et al. (2019); Casino et al. (2020); Cui et al. (2020); Dong et al. (2020a); Dong et al. (2020b); Fang et al. (2020); Gao et al. (2020); Grecuccio et al. (2020); Hao et al. (2020); Liu et al. (2020); Pooja et al. (2020); Prashar et al. (2020); Shahid et al. (2020a); Zhang et al. (2020); Wang et al. (2021); Chen et al. (2021); Dey et al. (2021); Runzel et al. (2021); Son et al. (2021); Tayal et al. (2021); Ekawati et al. (2021); Jannat et al. (2021); Jawale and Pawar (2021); Juan et al. (2021); Krishna et al. (2021); Ling et al. (2021)b; Liu et al. (2021); Low et al. (2021); Patidar et al. (2021); Shahzad and Zhang, (2021); Yi et al. (2021); Ktari et al. (2022); Kumaresh et al. (2022); Li et al. (2022); Marchese and Tomarchio (2022); Ramkumar et al. (2022); Sambare et al. (2022); Sekuloska and Erceg (2022); Tasnim et al. (2022); Tsoukas et al. (2022); Valencia-Payan et al. (2022); Xu et al. (2022); Zhang et al. (2022)</p>
<p>Information Automational Characteristics</p>	<p>24/109</p>	<p>Tian (2016); Tian (2017); Malik et al. (2018); Arena et al. (2019); Huang et al. (2019); Baralla et al. (2019); Kim et al. (2019); Salah et al. (2019); Casino et al. (2020); Jaiyen et al. (2020); Longo et al. (2020); Pooja et al. (2020); Zhang et al. (2020); Jawale and Pawar (2021); Krishna et al. (2021); Ling et al. (2021)b; Shahzad and Zhang, (2021); Castillo et al. (2022); Conti (2022); Fakhong et al. (2022); Ktari et al. (2022); Patel et al. (2022); Sadayapillai and Kottursamy (2022); Tasnim et al. (2022)</p>
<p>Food Safety and Quality</p>	<p>24/109</p>	<p>Tian (2017); Baralla et al. (2019); Gopalakrishnan and Behdad (2019); Cruz and da Cruz (2020); George et al. (2019); Tradigo et al. (2019); Cui et al. (2020); Qian et al. (2020); Wang et al. (2020); Yang et al. (2020); Baralla et al. (2021); Tayal et al. (2021); Cocco and Mannaro (2021); Ekawati et al. (2021); Jannat et al. (2021); Jawale and Pawar (2021); Shahzad and Zhang, (2021); Yi et al. (2021); Cao et al. (2022); Castillo et al. (2022); Gai et al. (2022); Khanna et al. (2022); Li et al. (2022); Yakubu et al. (2022)</p>

Consumer Awareness	21/109	Malik et al. (2018); Arena et al. (2019); Baralla et al. (2019); Cruz and da Cruz (2020); Casino et al. (2020); Cui et al. (2020); Khan et al. (2020); Pradana et al. (2020); Lee et al. (2021); Dey et al. (2021); Tayal et al. (2021); Chen et al. (2021); Jannat et al. (2021); Low et al. (2021); Vo et al. (2021); Cao et al. (2022); Castillo et al. (2022); Conti (2022); Marchesi et al. (2022); Tasnim et al. (2022); Yakubu et al. (2022)
Supply Chain Process Management	17/109	Hong et al. (2018); Mao et al. (2018); Chan et al. (2019); Liao and Xu (2019); Shahid et al. (2020b); Yang et al. (2020); Chen et al. (2021); Shahbazi and Byun (2021); Tayal et al. (2021); Zhang et al. (2021); Vo et al. (2021); Castillo et al. (2022); Khanna et al., (2022); Sadayapillai and Kottursamy (2022); Subashini and Hemavati (2022); Valencia-Payan et al. (2022); Zhang et al. (2022)
Regulations	6/109	George et al. (2019); Tayal et al. (2021); Jawale and Pawar (2021); Conti (2022); Marchesi et al. (2022); Subashini and Hemavati (2022)
Certification	6/109	Arena et al. (2019); Cocco et al. (2021); Jannat et al. (2021); Jawale and Pawar (2021); Cena et al. (2022); Marchesi et al. (2022)
Market Protection	5/109	Malik et al. (2018); Baralla et al. (2021); Jawale and Pawar (2021); Khanna et al., (2022); Sambare et al. (2022)
Health and well-being standards	5/109	Alonso et al., (2020); Runzel et al., (2021); Khanna et al. (2022); Cena et al. (2022); Cao et al. (2022)
Informational Transformational Characteristics	4/109	Liao and Xu (2019); Jawale and Pawar (2021); Ling et al. (2021)a; Khanna et al. (2022)
Animal Welfare	2/109	Alonso et al. (2020); Cena et al. (2022)
Agri-Terrorism	1/109	Balamurugan et al. (2021)
Production Scheduling and optimization	1/109	Arena et al. (2019)

Food Waste/ Food Loss	1/109	Valencia-Payan et al. (2022)
Competitive Advantage	1/109	Sekuloska and Erceg (2022)

Table 4 – Food traceability drivers and corresponding studies

Evidently, all the FTDs are closely interlinked and in some cases the presence of the certain FTD is not possible without another. However, the distribution of the blockchain solutions by the FTDs can provide an evidence about the most neglected aspects in this domain. As seen from the table, the highest ranked food traceability drivers covered in the literature apart from Adoption of Industry 4.0 Key Technologies driver which predictably covers all extracted studies, are Information Quality and Sharing, Information Automational Characteristics, Food Safety and Quality, and Consumer Awareness and Supply Chain Management Process. We may confirm that performance improvement in the field of receiving and transmitting information between the stakeholders of the FSC; improving information quality in terms of visibility, transparency, accuracy and completeness across the FSC; strengthening control over the safety and quality of products; overall supply chain safety control and promotion of consumer awareness are of great research interest for the developers of blockchain traceability solutions for FSC. This finding corresponds to the evidence presented in the literature (Kamilaris et al., 2019; Longo et al. 2020; Katsikouli et al. 2020). At the same time, the traceability drivers that are less reflected by the scholars (such as Regulations, Certification, Market Protection, Health and well-being standards, Informational Transformational Characteristics, Animal Welfare, Agri-Terrorism, Production Scheduling and optimization, Food Waste/ Food Loss, Competitive Advantage) can become a possible direction for further research of the development of blockchain-solutions for food traceability.

4 Conclusion

The article examined scientific literature on the application of blockchain technologies for food traceability by means of scoping review. Despite the fact that blockchain technologies appeared in 2008, the application of blockchain solutions to FSC is a relatively new phenomenon and

the articles in the topic are lacking (Feng et al., 2020). The first papers on the topic were published in 2016-2017. With the number of articles growing and geography of authors expanding every year, one can assume that this topic still has not “reached its peak”. New blockchain-based solutions to improve product traceability are constantly emerging in the literature. More scholars see blockchain technologies as a solution to the food traceability challenges nowadays (Demesticas et al. 2020; Mangla et al. 2021, Galanakis et al., 2021). This study shows that the blockchain research is currently only focused on a rather limited range of traceability drivers. And as technical solutions become more and more complex and diverse, the potential range of tasks that these systems could solve is unlimited. One can expect a greater variety of blockchain solution, which will be aimed at a wider range of FTDs in the future. This paper is a starting point for the future research that can be developed in several directions. First, future research could apply the methodology used in this article to study the blockchain solutions for particular food products and make a comparative analysis revealing the best practices in the field. The authors also find it interesting to investigate what exact technologies are more applicable for certain food traceability drivers.

References

- ALONSO, R.S., SITTÓN-CANDANEDO, I., GARCÍA, Ó., PRIETO, J., RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, S. (2020). An intelligent Edge-IoT platform for monitoring livestock and crops in a dairy farming scenario. *Ad Hoc Networks*, 98 (3), 102047. DOI: 10.1016/j.adhoc.2019.102047.
- AL-RAKHAMI, M.S., AL-MASHARI, M. (2022). ProChain: Provenance-Aware Traceability Framework for IoT-Based Supply Chain Systems. *IEEE Access*, 10, 3631-3642. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3135371.
- ARENA, A., BIANCHINI, A., PERAZZO, P., VALLATI, C., DINI, G. (2019). BR-USCHETTA: An IoT blockchain-based framework for certifying extra virgin olive oil supply chain. *2019 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*, 173-179. DOI: 10.1109/SMARTCOMP.2019.00049.
- ARKSEY, H., O'MALLEY, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8, 19-32. DOI: 10.1080/1364557032000119616.
- ARNAUTU, D., DAGENAIS, C. (2021). Use and effectiveness of policy briefs as a knowledge transfer tool: A scoping review. *Humanities and Social Sciences Communications*, 8. DOI: 10.1057/s41599-021-00885-9.
- ARSYAD, A.A., DADKHAH, S., KOPPEN, M. (2019). Two-Factor Blockchain for Traceability Cacao Supply Chain. In: Xhafa, F and Barolli, L and Gregus, M (Eds.), *Advances in Intelligent Networking and Collaborative Systems, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 332-339. DOI: 10.1007/978-3-319-98557-2_30.
- ASTILL, J., DARA, R.A., CAMPBELL, M., FARBER, J.M., FRASER, E.D.G., SHARIF, S., YADA, R.Y. (2019). Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 240-247. DOI:10.1016/j.tifs.2019.07.024
- AWWAD, M., KALLURU, S.R., AIRPULLI, V.K., ZAMBRE, M.S., MARATHE, A., JAIN, P. (2018). Blockchain technology for efficient management of supply chain. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 440-449.
- BAI, L., GONG, S. (2017). Consumer knowledge, attitude and behavior toward food safety. *Food Safety in China: Science, Technology, Management and Regulation*. Jen, J., Chen, J., Eds.; Wiley-Blackwell Inc.: Oxford, UK.

- BALAMURUGAN, S., AYYASAMY, A., JOSEPH, K.S. (2021). IoT-Blockchain driven traceability techniques for improved safety measures in food supply chain. *International Journal of Information Technology (Singapore)*. DOI: 10.1007/s41870-020-00581-y.
- BARALLA, G., PINNA, A., CORRIAS, G. (2019). Ensure traceability in European food supply chain by using a blockchain system. *2019 IEEE/ACM 2nd International Workshop on Emerging Trends in Software Engineering for Blockchain (WETSEB)*, 40-47. DOI: 10.1109/WETSEB.2019.00012.
- BARALLA, G., PINNA, A., TONELLI, R., MARCHESI, M., IBBA, S. (2021). Ensuring transparency and traceability of food local products: A blockchain application to a Smart Tourism Region. *Concurrency Computation Concurrency and Computation Practice and Experience*, 33(1), Article e5857. DOI: 10.1002/cpe.5857.
- BORDEL, B., LEBIGOT, P., ALCARRIA, R., ROBLES, T. (2019). Digital food product traceability: Using blockchain in the international commerce. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 850, 224-231. DOI: 10.1007/978-3-030-02351-5_27.
- BRIEN, S.E., LORENZETTI, D.L., LEWIS, S., KENNEDY, J., GHALI, W.A. (2010) Overview of a formal scoping review on health system report cards. *Implementation Science*, 5(2). DOI: 10.1186/1748-5908-5-2.
- CAO, S., JOHNSON, H., TULLOCH, A. (2022). Exploring blockchain-based Traceability for Food Supply Chain Sustainability: Towards a Better Way of Sustainability Communication with Consumers. *Procedia Computer Science*, 217, 1437-1445. DOI: 10.1016/j.procs.2022.12.342.
- CARO, M.P., ALI, M.S., VECCHIO, M., GIAFFREDA, R. (2018). Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. *2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture – Tuscany (IOT Tuscany 2018)*, 1-4. DOI: 10.1109/IOT-TUSCANY.2018.8373021.
- CASINO, F., KANAKARIS, V., DASAKLIS, T.K., MOSCHURIS, S., RACHANIOTIS, N.P. (2019). Modeling food supply chain traceability based on blockchain technology. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2728-2733. DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.11.620.
- CASINO, F., KANAKARIS, V., DASAKLIS, T.K., MOSCHURIS, S., STACHTIARIS, S., PAGONI, M., RACHANIOTIS, N.P. (2020). Blockchain-based food supply chain traceability: a case study in the dairy sector. *International Journal of Production Research*, 1(13). DOI: 10.1080/00207543.2020.1789238.

- CASTILLO, J., BARBA, K., CHEN, Q. (2022). ChainSCAN: A Blockchain-Based Supply Chain Alerting Framework for Food Safety. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 13580, 3-20. DOI: 10.1007/978-3-031-17551-0_1.
- CENA, F., SCHIFANELLA, C., TORTIA, C., MARITANO, V., BRUSCHI, O., COBETTO, V., AMBROSINI, S. (2022). PININ: increasing customer awareness through an innovative IoT and blockchain-based high quality food product tracking system. *Proceedings - 2022 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, WI-IAT 2022*, 236-242. DOI: 10.1109/WI-IAT55865.2022.00041.
- CHAN, K.Y., ABDULLAH, J., KHAN, A.S. (2019). A framework for traceable and transparent supply chain management for agri-food sector in malaysia using blockchain technology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 10, 149–156. DOI: 10.14569/IJACSA.2019.0101120
- CHEN, C.-Y., CHAN, Y.-W., CHANG, C.-H., KANG, T.-C., HUANG, C.-H. & TSAI, Y.-T. (2021). The Design and Implementation of Blockchain-Based Supply Chain System with Traceability. *Lecture Notes in Electrical Engineerin*, 747, 197-206. DOI: 10.1007/978-981-16-0115-6_18.
- CHEN, H., CHEN, Z., LIN, F., ZHUANG, P. (2021). Effective management for blockchain-based agri-food supply chains using deep reinforcement learning. *IEEE Access* 9, 36008-36018. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3062410.
- CHUN-TING, P., MENG-JU, L., NEN-FU, H., JHONG-TING, L., JIA-JUNG, S. (2020). Agriculture Blockchain Service Platform for Farm-to-Fork Traceability with IoT Sensors. *2020 International Conference on Information Networking (ICOIN)*, 158-163. DOI: 10.1109/ICOIN48656.2020.9016535.
- COCCO, L., MANNARO, K. (2021). Blockchain in Agri-Food Traceability Systems: A Model Proposal for a Typical Italian Food Product. *Proceedings - 2021 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering, SANER 2021*, 669-678. DOI: 10.1109/SANER50967.2021.00085.
- COCCO, L., TONELLI, R., MARCHESI, M. (2021). Blockchain and self sovereign identity to support quality in the food supply chain. *Future Internet*, 13, 12. DOI: 10.3390/fi13120301.
- COLE, R., STEVENSON, M., AITKEN, J. (2019). Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. *Supply Chain Management*, Vol. 24 No. 4, pp. 469-483. DOI: 10.1108/SCM-09-2018-0309.

- CONG AN, A., THI XUAN DIEM, P., THI THU LAN, L., VAN TOI, T., DUONG QUOC BINH, L. (2019). Building a Product Origins Tracking System Based on Blockchain and PoA Consensus Protocol. *2019 International Conference on Advanced Computing and Applications (ACOMP 2019)*, 27-33. DOI: 10.1109/ACOMP.2019.00012.
- CONTI, M. (2022). EVO-NFC: Extra Virgin Olive Oil Traceability Using NFC Suitable for Small-Medium Farms. *IEEE Access*, 10, 20345-20356. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3151795.
- CREYDT M., FISCHER M. (2019). Blockchain and more - Algorithm driven food traceability. *Food Control*, 105, 45-51. DOI: 10.1016/j.foodcont.2019.05.019.
- CRUZ, E.F., DA CRUZ, A.M.R. (2020). Using blockchain to implement traceability on fishery value chain. *15th International Conference on Software Technologies (ICSOFT 2020)*, 501-508. DOI: 10.5220/0009889705010508.
- CUI, Y., IDOTA, H., OTA, M. (2020). Rebuilding Food Supply Chain with Introducing Decentralized Credit Mechanism. *7th Multidisciplinary in International Social Networks Conference (MISNC 2020) and the 3rd International Conference on Economics, Management and Technology (IEMT 2020)*, Article 3429401. DOI: 10.1145/3429395.3429401.
- DEMESTICAS K., PEPPE S N., ALEXAKIS T., ADAMOPOULOU E. (2020). Blockchain in agriculture traceability systems: a review. *Applied Sciences*, 12(12). DOI: 10.3390/app10124113.
- DEY, S., SAHA, S., SINGH, A.K., McDONALD-MAIER, K. (2021). FoodSQR-Block: Digitizing food production and the supply chain with blockchain and QR code in the cloud. *Sustainability (Switzerland)*, 13. DOI: 10.3390/su13063486.
- DONG, Z., CHEN, J., CHEN, Y., SHAO, R. (2020). Food traceability system based on blockchain. *ICASIT 2020: Proceedings of the 2020 International Conference on Aviation Safety and Information Technology*, 571-576. DOI: 10.1145/3434581.3434687.
- DONG, Z., MA, C., WANG, Y., LIU, Z. (2020). Food information traceability system based on fabric. *ICASIT 2020: Proceedings of the 2020 International Conference on Aviation Safety and Information Technology*, 563-570. DOI: 10.1145/3434581.3434685.
- EHSAN, I., IRFAN KHALID, M., RICCI, L., IQBAL, J., ALABRAH, A., SAJID ULLAH, S., ALFAKIH, T.M. (2022). A Conceptual Model for Blockchain-Based Agriculture Food Supply Chain System. *Scientific Programming*, 2022. DOI: 10.1155/2022/7358354.

- EKAWATI, R., ARKEMAN, Y., SUPRIHATIN & SUNARTI, T.C. (2021). Proposed Design of White Sugar Industrial Supply Chain System based on Blockchain Technology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(4), 459-465. DOI: 10.14569/IJACSA.2021.0120459.
- FAKKHONG, K., RANGSARITVORAKARN, N., TANTITECHA, C. (2022). Using Blockchain Technology for a Sustainable Agri-food Supply Chain in Thailand. *2022 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications, DASA 2022*, 1783-1786. DOI: 10.1109/DASA54658.2022.9764968.
- FANG, Z., GAI, K., ZHU, L., XU, L. (2020). LNBFSM: A Food Safety Management System Using Blockchain and Lightning Network. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 12454 LNCS*, 19-34. DOI: 10.1007/978-3-030-60248-2_2.
- FENG, H., WANG, X., DUAN, Y., ZHANG, J., ZHANG, X. (2020). Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121031. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.121031.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (2018). Sustainable food systems. Concept and framework, <http://www.fao.org/3/ca2079en/CA2079EN.pdf> Accessed May 10, 2021.
- GAI, K., FANG, Z., WANG, R., ZHU, L., JIANG, P., CHOO, K.-K.R. (2022). Edge Computing and Lightning Network Empowered Secure Food Supply Management. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(16), 14247-14259. DOI: 10.1109/JIOT.2020.3024694.
- GALANAKIS, C.M., RIZOU, M., ALDAWOU, T.M.S., UCAK, I, ROWAN, N.J. (2021). Innovations and technology disruptions in the food sector within the COVID-19 pandemic and post-lockdown era. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 193-200. DOI:/10.1016/j.tifs.2021.02.002.
- GALVEZ JUAN, F., MEJUTO, J.C., SIMAL-GANDARA, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 107, 222-232. DOI: 10.1016/j.trac.2018.08.011.
- GAO, K., LIU, Y., XU, H., HAN, T. (2020). Hyper-FTT: A Food Supply-Chain Trading and Traceability System Based on Hyperledger Fabric. *Communications in Computer and Information Science 1156 CCIS*, 648-661. DOI: 10.1007/978-981-15-2777-7_53.

- GARAUS M., TREIBLMAIER H. (2021). The influence of blockchain-based food traceability on retailer choice: The mediating role of trust. *Food Control*, 129. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108082.
- GEORGE, R.V., HARSH, H.O., RAY, P., BABU, A.K. (2019). Food quality traceability prototype for restaurants using blockchain and food quality data index. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118021. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.118021.
- GOPALAKRISHNAN, P.K., BEHDAD, S. (2019). A conceptual framework for using videogrammetry in blockchain platforms for food supply chain traceability. *ASME Design Engineering Technical Conference*. DOI: 10.1115/DETC2019-97527.
- GRECUCCIO, J., GIUSTO, E., FIORI, F., REBAUDENGO, M. (2020). Combining blockchain and iot: Food-chain traceability and beyond. *Energies*, 13. DOI: 10.3390/en13153820.
- HALEEM A., KHAN S., KHAN M.I. (2019). Traceability implementation in food supply chain: A grey-DEMATEL approach. *Information Processing in Agriculture*, 6(3), 335-348. DOI: 10.1016/j.inpa.2019.01.003.
- HAO, J., SUN, Y., LUO, H. (2018). A safe and efficient storage scheme based on blockchain and IPFs for agricultural products tracking. *Journal of Computers (Taiwan)* 29, 158-167. DOI: 10.3966/199115992018122906015.
- HAO, Z., MAO, D., ZHANG, B., ZUO, M., ZHAO, Z. (2020). A novel visual analysis method of food safety risk traceability based on blockchain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17. DOI: 10.3390/ijerph17072300.
- HAROON, A., BASHARAT, M., KHATTAK, A.M., EJAZ, W. (2019). Internet of Things Platform for Transparency and Traceability of Food Supply Chain. *2019 IEEE 10th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON 2019)*, 13-19. DOI: 10.1109/IEMCON.2019.8936158.
- HONG, W., CAI, Y., YU, Z., YU, X. (2018). An Agri-product Traceability System Based on IoT and Blockchain Technology. In: Kai, L (Ed.), *2018 1st IEEE International Conference on Hot Information-Centric Networking (HOTICN 2018)*, 254-255. DOI: 10.1109/HOTICN.2018.8605963.
- HONG, W., MAO, J., WU, L., PU, X. (2021). Public cognition of the application of blockchain in food safety management – Data from China's Zhihu platform. *Journal of Cleaner Production*, 303, 127044. DOI:10.1016/j.jclepro.2021.127044.

- HUANG, H., ZHOU, X., LIU, J. (2019). Food Supply Chain Traceability Scheme Based on Blockchain and EPC Technology. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 11911 LNCS, 32-42. DOI: 10.1007/978-3-030-34083-4_4.
- ISO/TC 176/SC 1 22005:2005, Traceability in the feed and food chain – general principles and basic requirements for system design and implementation (2005).
- ITZIOS, M., JACK, L., KRZYZANIAK, S., XU, M. (2017). Country-of-Origin Labelling, Food Traceability Drivers and Food Fraud: Lessons from Consumers' Preferences and Perceptions. *European Journal of Risk Regulation*, 8(3), 541-558. DOI: 10.1017/err.2017.27 .
- JAIYEN, J., PONGNUMKUL, S., CHAOVALIT, P. (2020). A proof-of-concept of farmer-to-consumer food traceability on blockchain for local communities. *2020 International Conference on Computer Science and Its Application in Agriculture (ICOSICA 2020)*. DOI: 10.1109/ICOSICA49951.2020.9243172.
- JANNAT, M.U., AHAMED, R., MAMUN, A., FERDAUS, J., COSTA, R., BISWAS, M. (2021). Organic Food Supply Chain Traceability using Blockchain Technology. *2021 International Conference on Science and Contemporary Technologies, ICSCT 2021*. DOI: 10.1109/ICSCT53883.2021.9642543.
- JAWALE, M.A., PAWAR, A.B. (2021). Enhancing Agricultural Product Supply Chain Management Using Blockchain Technology: Concept. *Advances in Parallel Computing*, 39, 539-543. DOI: 10.3233/APC210240.
- JUAN, Y., FANG, T., CHENG, Z. (2021). A Food Safety Traceability System Based on Blockchain. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 218, 313-322. DOI: 10.1007/978-981-33-6141-6_34.
- KAMATH R. (2018). Food Traceability on Blockchain: Walmart's Pork and Mango Pilots with IBM. *The Journal of British Blockchain Association*, 1(1). DOI: 10.31585/jbba-1-1-(10)2018.
- KAMILARIS A., FONTS A., PRENAFETA-BOLDY F.X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640-652. DOI:10.1016/j.tifs.2019.07.034.
- KATSIKOULI, P., WILDE, A.S., DRAGONI, N., HØGH-JENSEN, H. (2020). On the benefits and challenges of blockchains for managing food supply chains. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 101 (6), 2175-2181. DOI: 10.1002/jsfa.10883.
- KHAN, P.W., BYUN, Y.-C., PARK, N. (2020). IoT-Blockchain Enabled Optimized Provenance System for Food Industry 4.0 Using Advanced Deep Learning. *Sensors*, 20. DOI: 10.3390/s20102990.

- KHANNA, A., JAIN, S., BURGIO, A., BOLSHEV, V., PANCHENKO, V. (2022). Blockchain-Enabled Supply Chain platform for Indian Dairy Industry: Safety and Traceability. *Foods*, 11, 17. DOI: 10.3390/foods11172716.
- KIM, M., HILTON, B., BURKS, Z., REYES, J. (2019). Integrating Blockchain, Smart Contract-Tokens, and IoT to Design a Food Traceability Solution. *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON 2018)*, 335-340. DOI: 10.1109/IEMCON.2018.8615007.
- KRISHNA, A.V.P., SRINAGA, A.M., KUMAR, R.A., NACHIKETH, R., VARDHAN, V.V. (2021). Planning Secure Consumption: Food Safety Using Blockchain. *2021 IEEE International Conference on Technology, Research, and Innovation for Betterment of Society, TRIBES 2021*. DOI: 10.1109/TRIBES52498.2021.9751659.
- KTARI, J., FRIKHA, T., CHAABANE, F., HAMDI, M., HAMAM, H. (2022). Agricultural Lightweight Embedded Blockchain System: A Case Study in Olive Oil. *Electronics (Switzerland)*, 11, 20. DOI: 10.3390/electronics11203394.
- KUMARESH, V., KUMAR, G., BHAT, R.K., NAGARAJA, J. (2022). Foodereum: A Blockchain-based Authenticated Solution for Food Supply Chain. *2022 IEEE North Karnataka Subsection Flagship International Conference, NKCon 2022*. DOI: 10.1109/NKCon56289.2022.10126555.
- KUMPERŠČAK, S., MEDVED, M., TERGLAV, M., WRZALIK, A., OBRECHT, M. (2019). Traceability systems and technologies for better food supply chain management. *QPI 2019*, 1(1), 567-574. DOI: 10.2478/9783110680591-076.
- LEE, M.-J., LUO, J.-T., SHAO, J.-J., HUANG, N.-F. (2021). A Trustworthy Food Resume Traceability System Based on Blockchain Technology. *International Conference on Information Networking*, 546-552. DOI: 10.1109/ICOIN50884.2021.9334025.
- LI, Y., ZHANG, X., ZHAO, Z., XU, J., JIANG, Z., YU, J., CUI, X. (2022). Research on Grain Food Blockchain Traceability Information Management Model Based on Master-Slave Multichain. *Genetics Research*, 2022. DOI: 10.1155/2022/7498025.
- LIAO, Y., XU, K. (2019). Traceability System of Agricultural Product Based on Block-chain and Application in Tea Quality Safety Management. *Journal of Physics: Conference Series*, 1288. DOI:10.1088/1742-6596/1288/1/012062.
- LIN, Q., WANG, H., PEI, X., WANG, J. (2019). Food Safety Traceability System Based on Blockchain and EPCIS. *IEEE Access* 7, 20698-20707. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2897792.

- LING, C., ZENG, T., LI, C. (2021)a. Design and implementation of a food safety traceability platform based on blockchain and Internet of Things. *IEEE Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference, ITNEC 2021*, 1421-1425. DOI: 10.1109/ITNEC52019.2021.9587193.
- LING, C., ZENG, T., SU, Y. (2021)b. Research on Intelligent Supervision and Application System of Food Traceability Based on Blockchain and Artificial intelligence. *Proceedings of 2021 IEEE 2nd International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence, ICIBA 2021*, 370-375. DOI: 10.1109/ICIBA52610.2021.9688295.
- LIU, P., LI, Q., YUAN, S., LIU, W., YUN, Z., DAI, Y., DUAN, M., NIAN, Y. (2021). Design and Implementation of Blockchain Based Food Quality and Safety Traceability Platform. *ACM International Conference Proceeding Series*. DOI: 10.1145/3513142.3513210.
- LIU, X., YAN, J., SONG, J. (2020). Blockchain-Based Food Traceability: A Dataflow Perspective. In: Chao, KM and Jiang, L and Hussain, OK and Ma, SP and Fei, X (Ed.), *Advances in E-Business Engineering for Ubiquitous Computing, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 421-431. DOI: 10.1007/978-3-030-34986-8_30.
- LONGO F., NICOLETTI L., PADOVANO A. (2020). Estimating the Impact of Blockchain Adoption in the Food Processing Industry and Supply Chain, *International Journal of Food Engineering*, 16(5-6), 20190109. DOI: 10.1515/ijfe-2019-0109.
- LOW, X.Y., YUNUS, N.A., MUHAMAD, I.I. (2021). Development of Traceability System for Seafood Supply Chains in Malaysia. *Chemical Engineering Transactions*, 89, 427-432. DOI: 10.3303/CET2189072.
- MALIK, S., KANHERE, S.S., JURDAK, R. (2018). ProductChain: Scalable blockchain framework to support provenance in supply chains. *2018 IEEE 17th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA 2018)*. DOI: 10.1109/NCA.2018.8548322.
- MANGLA S.K., KAZANCOGLU Y., EKINCI E., MENGQI L., OZBILTEKIN M., SEZER M.D. (2021). Using system dynamics to analyze the societal impacts of blockchain technology in milk supply chains refer. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 149. DOI: 10.1016/j.tre.2021.102289.
- MAO, D., WANG, F., HAO, Z., LI, H. (2018). Credit evaluation system based on blockchain for multiple stakeholders in the food supply chain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15. DOI: 10.3390/ijerph15081627.

- MARCHESE, A., TOMARCHIO, O., 2022. A Blockchain-Based System for Agri-Food Supply Chain Traceability Management. *SN Computer Science*, 3, 4. DOI: 10.1007/s42979-022-01148-3.
- MARCHESI, L., MANNARO, K., MARCHESI, M., TONELLI, R. (2022). Automatic Generation of Ethereum-Based Smart Contracts for Agri-Food Traceability System. *IEEE Access*, 10, 50363-50383. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3171045.
- MONDAL, S., WIJEWARDENA, K.P., KARUPPUSWAMI, S., KRITI, N., KUMAR, D., CHAHAL, P. (2019). Blockchain Inspired RFID-Based Information Architecture for Food Supply Chain. *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 5803-5813. DOI: 10.1109/JIOT.2019.2907658.
- NURGAZINA, J., PAKDEETRAKULWONG, U., MOSER, T., REINER, G. (2021). Distributed ledger technology applications in food supply chains: A review of challenges and future research directions. *Sustainability (Switzerland)*, 13. DOI: 10.3390/su13084206.
- PATEL, D., SINHA, A., BHANSALI, T., USHA, G., VELLIANGIRI, S. (2022). Blockchain in Food Supply Chain. *Procedia Computer Science*, 215, 321-330. DOI: 10.1016/j.procs.2022.12.034.
- PATIDAR A., SHARMA M., AGRAWAL R. (2021). Prioritizing drivers to creating traceability in the food supply chain. *Procedia CIRP*, 98, 690-695. DOI: 10.1016/j.procir.2021.01.176.
- PATIDAR, A., SHARMA, M., AGRAWAL, R., SANGWAN, K.S. (2021). A Smart Contracts and Tokenization Enabled Permissioned Blockchain Framework for the Food Supply Chain. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 630, 228-235. DOI: 10.1007/978-3-030-85874-2_24.
- PATRO, P.K., JAYARAMAN, R., SALAH, K., YAQOUB, I. (2022). Blockchain-Based Traceability for the Fishery Supply Chain. *IEEE Access*, 10, 81134-81154. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3196162.
- PAWAR, M.K., PATIL, P., HIREMATH, P.S., HEGDE, V.S., AGARWAL, S., NAVEENKUMAR, P.B. (2021). Scalable Blockchain Framework for a Food Supply Chain. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 735, 467-478. DOI: 10.1007/978-981-33-6977-1_35.
- POOJA, S., MEERADEVI, MUNDADA, M.R. (2020). Analysis of Agricultural Supply Chain Management for Traceability of Food Products using Blockchain-Ethereum Technology. *2020 IEEE International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER)*, 127-132. DOI: 10.1109/DISCOVER50404.2020.9278029.
- PRADANA, I.G.M.T., DJATNA, T., HERMADI, I. (2020). Blockchain modeling for traceability information system in supply chain of coffee agroindustry. *2020 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)*, 217-224. DOI: 10.1109/ICACSIS51025.2020.9263214.

- PRASHAR, D., JHA, N., JHA, S., LEE, Y., JOSHI, G.P. (2020). Blockchain-based traceability and visibility for agricultural products: A decentralized way of ensuring food safety in India. *Sustainability (Switzerland)*, 12. DOI: 10.3390/su12083497.
- QIAN, J., WU, W., YU, Q., RUIZ-GARCIA, L., XIANG, Y., JIANG, L., SHI, Y., DUAN, Y., YANG, P. (2020). Filling the trust gap of food safety in food trade between the EU and China: An interconnected conceptual traceability framework based on blockchain. *Food and Energy Security*, 9. DOI: 10.1002/fes3.249.
- RAMBHIA, V., MEHTA, R., SHAH, R., MEHTA, V., PATEL, D. (2022). Agrichain: A Blockchain-Based Food Supply Chain Management System. *Lecture Notes in Computer Science*, 12991, 3-15. DOI: 10.1007/978-3-030-96527-3_1.
- RAMKUMAR, G., KASAT, K., KHADER P, R.A., MUHAMMED P K, N., RAGHU, T., CHHABRA, S. (2022). Quality enhanced framework through integration of blockchain with supply chain management. Measurement: *Sensors*, 24. DOI: 10.1016/j.measen.2022.100462.
- RAY P., HARSH H. O., DANIEL A., RAY A. (2019). Incorporating Block Chain Technology in Food Supply Chain. *International Journal of Management Studies*, 6, Issue 1(5). DOI: 10.18843/ijms/v6i1(5)/13.
- REARDON, T., BARRETT, C.B. (2000). Agroindustrialization, globalization, and international development an overview of issues, patterns, and determinants. *Agricultural Economics*, 23, 195-205. DOI: 10.1111/j.1574-0862.2000.tb00272.x.
- ROGERSON, M., PARRY, G.C. (2020). Blockchain: case studies in food supply chain visibility. *Supply Chain Management*, Vol. 25 No. 5, pp. 601-614. DOI: 10.1108/SCM-08-2019-0300.
- RUNZEL, M.A., HASSLER, E.E., ROGERS, R., FORMATO, G., CAZIER, J.A. (2021). Designing a Smart Honey Supply Chain for Sustainable Development. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 10(4), 69-78. DOI: 10.1109/MCE.2021.3059955.
- SADAYAPILLAI, B., KOTTURSAMY, K. (2022). An Agriculture Supply Chain Model for Improving Farmer Income Using Blockchain Smart Contract. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 311, 587-598. DOI: 10.1007/978-981-16-5529-6_46.
- SAI RADHA KRISHNA, G., REKHA, P. (2022). Food Supply Chain Traceability System using Blockchain Technology. *2022 8th International Conference on Signal Processing and Communication, ICSC 2022*, 370-375. DOI: 10.1109/ICSC56524.2022.10009418.
- SALAH, K., NIZAMUDDIN, N., JAYARAMAN, R., OMAR, M. (2019). Blockchain-Based Soybean Traceability in Agricultural Supply Chain. *IEEE Access*, 7, 73295-73305. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2918000.

- SAMBARE, S.S., BORPHALKAR, M.R., UTEKAR, A.V., SALUNKE, V. (2022). The Role of Block Chain for Sustainable Agri Food Supply Chain Management. *2022 6th International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2022*. DOI: 10.1109/ICCUBEA54992.2022.10010972.
- SEKULOSKA, J.D., ERCEG, A. (2022). Blockchain Technology toward Creating a Smart Local Food Supply Chain. *Computers*, 11, 6. DOI: 10.3390/computers11060095.
- SHAHBAZI, Z., BYUN, Y.-C. (2021). A procedure for tracing supply chains for perishable food based on blockchain, machine learning and fuzzy logic. *Electronics (Switzerland)* 10, 1-21. DOI: 10.3390/electronics10010041.
- SHAHID, A., ALMOGREN, A., JAVAID, N., AL-ZAHRANI, F.A., ZUAIR, M., ALAM, M. (2020). Blockchain-Based Agri-Food Supply Chain: A Complete Solution. *IEEE Access* 8, 69230-69243. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2986257.
- SHAHID, A., SARFRAZ, U., MALIK, M.W., IFTIKHAR, M.S., JAMAL, A., JAVAID, N. (2020). Blockchain-Based Reputation System in Agri-Food Supply Chain. *Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC)*, 1151, 12-21. DOI: 10.1007/978-3-030-44041-1_2.
- SHAHZAD, A., ZHANG, K. (2021). An Integrated IoT-Blockchain Implementation for End-to-End Supply Chain. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1289, 987-997. DOI: 10.1007/978-3-030-63089-8_65.
- SINGH, A., KUMAR, V., KUMAR RAVI, A., CHATTERJEE, K. (2021). Ensuring Food Safety Through Blockchain. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 668, 745-755. DOI: 10.1007/978-981-15-5341-7_56.
- SON, N.M., NGUYEN, T.-L., HUONG, P.T., HIEN, L.T. (2021). Novel System Using Blockchain for Origin Traceability of Agricultural Products. *Sensors and Materials*, 33, 601-613. DOI: 10.18494/SAM.2021.2490.
- STRANIERI S., RICCARDI F., MEUWISSEN M.P.M., SOREGAROLI C. (2021). Exploring the impact of blockchain on the performance of agri-food supply chains. *Food Control*, 119. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107495.
- SUBASHINI, B., HEMAVATI, D. (2022). Blockchain and IoT's role in Agri Food Supply Chain Traceability. *9th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering, UPCON 2022*. DOI: 10.1109/UPCON56432.2022.9986425.
- SURASAK, T., WATTANAVICHEAN, N., PREUKSAKARN, C., HUANG, S.C.-H. (2019). Thai agriculture products traceability system using blockchain and Internet of Things. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10, 578-583. DOI: 10.14569/IJACSA.2019.0100976.

- TASNIM, S.T., ISLAM, M.A., TAIFA, R.J., MAHBUB, S., AHMMAD RASHID, M.R. (2022). Agri-food Traceability Using Blockchain Technology to Ensure Value Chain Management and Fair Pricing in Bangladesh. *2022 IEEE 8th World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2022*. DOI: 10.1109/WF-IoT54382.2022.10152086.
- TAYAL, A., SOLANKI, A., KONDAL, R., NAYYAR, A., TANWAR, S., KUMAR, N. (2021). Blockchain-based efficient communication for food supply chain industry: Transparency and traceability analysis for sustainable business. *International Journal of Communication Systems*, 34. DOI: 10.1002/dac.4696.
- TIAN, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. *2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)* DOI: 10.1109/ICSSSM.2016.7538424.
- TIAN, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. *14th International Conference on Services Systems and Services Management (ICSSSM)*. DOI: 10.1109/ICSSSM.2017.7996119.
- TIJAN, E., AKSENTIJEVIĆ, S., IVANIĆ, K., JARDAS, M. (2019). Blockchain Technology Implementation in Logistics. *Sustainability*, 11, 1185. DOI: 10.3390/su11041185.
- TRADIGO, G., VIZZA, P., VELTRI, P., GUZZI, P.H. (2019). An information system to track data and processes for food quality and bacterial pathologies prevention. *CEUR Workshop Proceedings*, 2400.
- TSOUKAS, V., GKOGKIDIS, A., KAMPA, A., SPATHOULAS, G., KAKAROUNTAS, A. (2022). Enhancing Food Supply Chain Security through the Use of Blockchain and TinyML. *Information (Switzerland)*, 13, 5. DOI: 10.3390/info13050213.
- VALENCIA-PAYAN, C., GRASS-RAMIREZ, J.F., RAMIREZ-GONZALEZ, G., CORRALES, J.C. (2022). A Smart Contract for Coffee Transport and Storage With Data Validation. *IEEE Access*, 10, 37857-37869. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3165087.
- VO, K.T., NGUYEN-THI, A.-T., NGUYEN-HOANG, T.-A. (2021). Building Sustainable Food Supply Chain Management System Based on Hyperledger Fabric Blockchain. *Proceedings – 2021 15th International Conference on Advanced Computing and Applications, ACOMP 2021*, 9-16. DOI: 10.1109/ACOMP53746.2021.00008.
- WANG, L., HE, Y., WU, Z. (2022). Design of a Blockchain-Enabled Traceability System Framework for Food Supply Chains. *Foods*, 11, 5. DOI: 10.3390/foods11050744.

- WANG, L., XU, L., ZHENG, Z., LIU, S., LI, X., CAO, L., LI, J., SUN, C. (2021). Smart Contract-Based Agricultural Food Supply Chain Traceability. *IEEE Access* 9, 9296-9307. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3050112.
- WANG, S., LI, D., ZHANG, Y., CHEN, J. (2019). Smart Contract-Based Product Traceability System in the Supply Chain Scenario. *IEEE ACCESS* 7, 115122-115133. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2935873.
- WANG, Y., CHEN, K., HAO, M., YANG, B. (2020). Food Safety Traceability Method Based on Blockchain Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1634, 012025 DOI: 10.1088/1742-6596/1634/1/012025.
- XU, J., HAN, J., QI, Z., JIANG, Z., XU, K., ZHENG, M., ZHANG, X. (2022). A Reliable Traceability Model for Grain and Oil Quality Safety Based on Blockchain and Industrial Internet. *Sustainability (Switzerland)*, 14, 22. DOI: 10.3390/su142215144.
- YAKUBU, B.M., LATIF, R., YAKUBU, A., KHAN, M.I., MAGASHI, A.I. (2022). RiceChain: secure and traceable rice supply chain framework using blockchain technology. *PeerJ Computer Science*, 8. DOI: 10.7717/PEERJ-CS.801.
- YANG, L., LIU, X.-Y., KIM, J.S. (2020). Cloud-based Livestock Monitoring System Using RFID and Blockchain Technology. *2020 7th IEEE International Conference on Cyber Security and Cloud Computing and 2020 6th IEEE International Conference on Edge Computing and Scalable Cloud (CSCloud-EdgeCom)*, 240-245. DOI: 10.1109/CSCloud-EdgeCom49738.2020.00049.
- YI, W., HUANG, X., YIN, H., DAI, S. (2021). Blockchain-based approach to achieve credible traceability of agricultural product transactions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1864(1). DOI: 10.1088/1742-6596/1864/1/012115.
- ZHANG, X., LI, Y., PENG, X., ZHAO, Z., HAN, J., XU, J. (2022). Information Traceability Model for the Grain and Oil Food Supply Chain Based on Trusted Identification and Trusted Blockchain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 11. DOI: 10.3390/ijerph19116594.
- ZHANG, X., SUN, P., XU, J., WANG, X., YU, J., ZHAO, Z., DONG, Y. (2020). Blockchain-based safety management system for the grain supply chain. *IEEE Access* 8, 36398-36410. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2975415.
- ZHANG, Y., LIU, Y., JIONG, Z., ZHANG, X., LI, B., CHEN, E. (2021). Development and assessment of blockchain-IoT-based traceability system for frozen aquatic product. *Journal of Food Process Engineering*, 44(5). DOI: 10.1111/jfpe.13669.

Sostenibilità nella filiera bovina piemontese: la percezione dei giovani consumatori nei confronti dei prodotti ottenuti da bovini alimentati ad erba-fieno

Giorgio Mina

University of Turin

Rosalia Stella Evola

University of Turin

Enrica Vesce

University of Turin

Alessandro Bonadonna

University of Turin

Giovanni Peira

University of Turin

ABSTRACT

L'impiego di diete alternative a quelle convenzionali nell'allevamento bovino può incidere sulla sostenibilità di tutto il sistema. Il Piemonte, Regione italiana con un'elevata vocazione per l'allevamento, risulta particolarmente ricco di risorse foraggere. Una filiera che riconosca il valore aggiunto dei prodotti ottenuti con queste risorse non risulta però ancora particolarmente sviluppata. L'obiettivo di questa ricerca è quello di analizzare la percezione dei giovani consumatori verso una filiera piemontese di prodotti lattiero caseari e carne ottenuti con una dieta composta prevalentemente da erba e fieno. Per indagare questi aspetti è stato somministrato un questionario ad un campione di consumatori piemontesi. L'indagine è stata costruita per indagare le abitudini, la spesa, e le preferenze relative al consumo di prodotti bovini convenzionali e di quelli provenienti da un'alimentazione costituita da risorse prative. All'indagine hanno preso parte 1750 consumatori. Circa il 90% dei rispondenti ha dichiarato di consumare abitualmente carne e latte bovino. Il 32% dichiara di essere a conoscenza dei prodotti ottenuti tramite una dieta prevalentemente erba fieno, ma solo il 17% afferma di averli già consumati. Dopo essere stati informati sulle caratteristiche di questi prodotti, circa il 70% del campione si è dimostrato interessato al loro acquisto, manifestando una disponibilità a pagare maggiore rispetto al prezzo del prodotto convenzionale. La propensione verso questi prodotti aumenta se corredata da maggiori informazioni sulla tracciabilità della filiera produttiva. I risultati della ricerca dimostrano che questa filiera non è ancora abbastanza conosciuta in Piemonte, ma che diversi consumatori manifestano una certa sensibilità e un certo interesse.

PAROLE CHIAVE/KEYWORDS: Dieta dei bovini/Cattle diet; Foraggi /Forages; Erba-fieno/Grass-fed; Preferenze dei consumatori /Consumer preference; Piemonte/Piedmont;

1 Introduzione

Le emissioni climalteranti generate dal settore degli allevamenti rappresentano il 14,5% del totale delle emissioni antropiche. Il settore dell'allevamento bovino rappresenta la maggior parte di queste emissioni: il 41% è dovuto all'allevamento dei bovini da carne, mentre il 20% ai bovini da latte (Gerber et al., 2023). Inoltre, il 77% della superficie agricola utilizzata a livello mondiale è destinata alla produzione animale (Ritchie et al., 2017). L'aumento della popolazione, della richiesta di proteine animali e la scarsità di ulteriori terreni coltivabili richiede nuovi approcci per l'aumento dell'efficienza e della sostenibilità degli allevamenti bovini. Le emissioni dovute alla produzione di cibo destinato agli animali allevati rappresentano il 45% del totale delle emissioni del settore degli allevamenti (Gerber et al., 2023). È chiaro quindi che la gestione della dieta negli allevamenti bovini, e in particolare, l'impiego di diete alternative a quelle convenzionali, può incidere fortemente sulla sostenibilità di tutto il sistema.

Negli ultimi anni, le diete alternative per gli allevamenti animali si sono diffuse in diverse parti d'Europa e del mondo. In particolare, ad oggi, sono state implementate alcune filiere erba-fieno o grass fed che sembrano incontrare i favori di una parte di consumatori particolarmente attenti alla sostenibilità ambientale al benessere animale. Infatti la filiera "grass-fed" si riferisce a un sistema di produzione alimentare in cui gli animali da carne (es. bovini) sono alimentati esclusivamente o principalmente con erba naturale e piante foraggere. Questo metodo di alimentazione si sviluppa parallelamente all'allevamento intensivo convenzionale, in cui gli animali sono nutriti principalmente con cereali o alimenti ad alto contenuto di carboidrati e/o proteico (Stampa et al., 2020).

Per far sì che le aziende agricole decidano di utilizzare metodi di allevamento alternativi, maggiormente sostenibili dal punto di vista ambientale, è necessario che essi siano remunerativi anche dal punto di vista economico (Stampa et al., 2020). Una possibile soluzione a questo problema è che i consumatori riconoscano il valore aggiunto di queste produzioni, così come i vari servizi non economici che esse forniscono, e che siano quindi disponibili a pagare di più per ottenerli (Stampa et al., 2020).

Per questo motivo risultano importanti le indagini relative alle preferenze dei consumatori e ai fattori che incidono su di esse. In letteratura si possono trovare diversi studi che analizzano la percezione dei consumatori

verso i prodotti bovini ottenuti con questa particolare alimentazione. I due principali strumenti di indagine utilizzati per analizzare le attitudini verso questi prodotti sono i questionari (Stampa and Zander, 2022; Xue et al., 2010; Evans et al., 2011; Richards and Vassalos, 2023; Getter et al., 2014; Risius and Hamm, 2017) e le valutazioni sensoriali (Cheng et al., 2020; Corcoran et al., 2023; Maughan et al., 2012; Kresova et al., 2022; García-Torres et al., 2016; Olhau et al., 2023). Nella prima tipologia di studi vengono indagate le motivazioni dietro l'acquisto, le preferenze di acquisto, la disponibilità a pagare e l'influenza delle informazioni e/o delle certificazioni sulle attitudini dei consumatori. La seconda tipologia di studi analizza invece le preferenze dei consumatori verso le caratteristiche sensoriali della carne e del latte ottenuti da bovini alimentati principalmente ad erba-fieno.

Tali studi analizzano diversi contesti territoriali, ma quelli più frequenti sono gli Stati Uniti (Evans et al., 2011; Richards and Vassalos, 2023; Getter et al., 2014; Cheng et al., 2020) e la Germania (Stampa and Zander, 2022; Risius and Hamm, 2017; Kresova et al., 2022; Olhau et al., 2023). Alcune indagini riguardanti il contesto italiano si possono trovare in letteratura: lo studio di Busch et al. (2018) analizza le aspettative e le associazioni dei consumatori sulla produzione di latte grass-fed in Sud-Tirolo, mentre lo studio di Peira et al. (2020) analizza l'opinione degli associati Slow Food verso il latte grass-fed. Per quanto riguarda invece il caso della carne, Kreuzer et al. (2021) svolgono un'analisi sensoriale della carne ottenuta da bovini allevati con diverse alimentazioni.

L'obiettivo di questa ricerca è quello di analizzare la percezione dei giovani consumatori verso una filiera piemontese di prodotti lattiero caseari e carne ottenuti con una dieta composta prevalentemente da erba e fieno. Il Piemonte, Regione italiana con un'elevata vocazione per l'allevamento, risulta particolarmente ricco di risorse foraggere. Una filiera che riconosca il valore aggiunto dei prodotti ottenuti con queste risorse non risulta però ancora particolarmente sviluppata. Indagare le preferenze dei consumatori piemontesi verso questi prodotti risulta quindi importante per creare informazioni utili al futuro sviluppo di questo mercato.

2 Progetto e Metodologia

Il Dipartimento di Management dell'Università di Torino è partner del progetto FILIERBA coordinato dal Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari dell'Università degli Studi di Torino. FILIERBA è un progetto finanziato dalla Regione Piemonte nell'ambito del PSR 2014-2020, Misura 16.1.1.

L'acronimo FILIERBA vuole esprimere in un'unica parola il focus

del progetto: le FILIere da ERBA, ovvero quelle filiere zootecniche che, utilizzando come base per l'alimentazione degli animali l'erba fresca e i foraggi conservati raccolti da prati a elevata biodiversità, consentono di ottenere produzioni di latte e di carne differenti da quelle che si ricavano attraverso l'allevamento convenzionale.

Le attività del progetto sono state avviate nell'inverno 2020-21 e le finalità possono essere riassunte come segue:

- *Promuovere lo sviluppo tecnico* ed economico di filiere di produzione di carne e latte bovini basate su sistemi di alimentazione che impiegano prevalentemente foraggi da praterie polifite (erba fresca e fieno a elevata biodiversità);
- *Sviluppare produzioni integrative* a quelle zootecniche (piante eduli) nella logica della multifunzionalità e della diversificazione delle produzioni aziendali;
- *Promuovere l'adozione di soluzioni* innovative per la gestione dell'allevamento al fine di migliorare l'organizzazione aziendale dei produttori primari e rafforzare il legame tra prodotti e territorio.

Il progetto si articola in 7 unità di lavoro e in 32 attività finalizzate a delineare lo stato e le potenzialità delle filiere di latte e carne da foraggi polifiti, migliorare l'organizzazione e l'efficienza delle filiere basate su foraggi polifiti per applicare in azienda soluzioni innovative, sviluppare la filiera innovativa delle piante eduli per l'uomo sulle stesse risorse impiegate per l'ottenimento dei prodotti zootecnici, analizzare la domanda di prodotti da foraggi polifiti da parte di consumatori intermedi e finali, individuare strategie per il miglioramento dell'offerta di prodotti ottenuti da foraggi polifiti attraverso la loro promozione e tutela.

Al fine di raggiungere tali obiettivi e, in particolare, quello di analizzare la potenziale domanda di questi prodotti, il Dipartimento di Management è stato incaricato di sviluppare un'analisi del mercato dei prodotti grass-fed con riferimento al territorio regionale. In tal senso è stato costruito un questionario da somministrare online agli studenti dell'Università degli Studi di Torino per indagare le abitudini di consumo e la percezione sui prodotti zootecnici bovini (lattiero caseario e carne) con una focalizzazione su prodotti grass-fed. In particolare, il target selezionato è quello dei giovani consumatori appartenenti alla Generazione Z e Millennials. Il questionario è stato sviluppato per indagare le abitudini e preferenze dei giovani consumatori in relazione al:

- consumo di prodotti lattiero caseari e carne bovina;
- consumo di prodotti lattiero caseari e carne ottenuti da bovini allevati con un'alimentazione anche erba-fieno;
- interesse verso l'acquisto di questi prodotti e la corrispondente disponibilità a pagare.

3 Risultati

3.1 Caratteristiche del campione

La composizione del campione intervistato viene riportata nella Tabella 1. All'indagine hanno partecipato 1750 consumatori, principalmente studenti e dipendenti dell'Università degli Studi di Torino. Il numero di donne che hanno partecipato all'indagine (71%) è maggiore rispetto agli uomini (29%). Per quanto riguarda l'età, la maggior parte del campione è composto da persone tra i 18 e i 25 anni (56%), seguita da persone tra i 25 e i 30 anni (25%), tra i 30 e i 50 (15%) e con più di 50 anni (4%). A conferma della distribuzione d'età vi è l'occupazione dei partecipanti, che per il 77% risulta essere studente, per il 20% occupato e per il 3% disoccupato o pensionato. Infine, la maggior parte dei rispondenti risiede in Piemonte (88%), mentre il 12% detiene la residenza in altre regioni italiane.

Categoria	Sottocategoria	%
Genere	Maschio	29%
	Femmina	71%
Età	18-25	56%
	25-30	25%
	30-50	15%
	50+	4%
Occupazione	Studente	77%
	Occupato	20%
	Altro	3%
Titolo di studio	Diploma	58%
	Laurea	42%
Regione di residenza	Piemonte	88%
	Altre regioni	12%

Tabella 1 – Caratteristiche del campione (N=1750)

3.2 Abitudini generali di consumo

Successivamente, il questionario prevedeva alcune domande relative alle abitudini di consumo dei prodotti bovini. La percentuale di partecipanti che consuma tali prodotti è riportata nella Tabella 2. L'86% consuma carne bovina, mentre per i prodotti lattiero caseari la percentuale cambia in base al

tipo di prodotto. La categoria maggiormente consumata è il formaggio (85% dei rispondenti), seguita dallo yogurt (70%), latte (64%) e burro (61%). Tali prodotti presentano un'elevata frequenza di consumo. Per quanto riguarda la carne bovina, il 73% la consuma una o più volte a settimana, il 16% una volta ogni due settimane, l'11% una volta al mese o meno. I prodotti lattiero caseari, pur essendo consumati da meno persone, presentano una più elevata frequenza di consumo: il 48% dei consumatori di latte lo consumano giornalmente; il formaggio viene consumato dal 50% dei rispondenti almeno tre volte a settimana; lo yogurt e il burro vengono invece consumati principalmente una volta a settimana (rispettivamente dal 33% e 49% dei consumatori).

Categoria	Si	No
Carne	86%	14%
Latte	64%	36%
Formaggio	85%	14%
Yogurt	70%	30%
Burro	61%	39%

Tabella 2 – Abitudini di consumo (N=1750)

Solamente la metà dei rispondenti si occupa personalmente dell'acquisto di tali prodotti (45% dei partecipanti per la carne, il 58% per i prodotti lattiero caseari). Questo dato è prova del fatto che il campione è principalmente composto da persone giovani, probabilmente ancora appartenenti al nucleo familiare. Tali prodotti vengono acquistati prevalentemente tramite il canale della distribuzione moderna (supermercati/ipermercati) soprattutto per quanto riguarda i prodotti lattiero caseari. Per la carne vi è anche una cospicua percentuale di acquisto nei negozi di prossimità e direttamente in azienda agricola.

I consumatori attribuiscono nella scelta dei prodotti (carne e prodotti lattiero caseari) un elevato valore alla freschezza, sapore, al metodo di produzione rispettoso degli animali e dell'ambiente, e alle informazioni sulle etichette. Dall'altro lato attribuiscono una minore importanza ai marchi aziendali, marchi di associazioni per tutela delle razze bovine, marchi delle catene distributive, e ai prodotti inseriti come premium.

3.3 Attitudini verso i prodotti erba-fieno

Successivamente il questionario conteneva domande legate ai pro-

dotti lattiero-caseari e carni ottenuti con foraggi freschi (erba fresca) e/o conservati (fieno o insilato) di provenienza prativa, conosciuti genericamente come prodotti erba-fieno o grass-fed. Il 32% dei rispondenti ha già sentito parlare di questi prodotti. Principalmente ne sono venuti a conoscenza tramite internet, l'università o il contesto familiare. Solamente il 17% li ha già consumati almeno una volta, principalmente formaggio (11%), carne (7%) e latte (7%), in misura minore yogurt (6%) e burro (5%). Tali prodotti sono stati acquistati principalmente in azienda agricola, negozi di prossimità, mercati agricoli e supermercato.

La maggior parte dei consumatori (66%) si è dimostrata interessata verso l'acquisto di questi prodotti, il 13% ha risposto negativamente, mentre il 21% non ha una preferenza precisa. L'interesse è principalmente rivolto verso carne (66%) e formaggi (66%), mentre in misura minore verso latte (50%), yogurt (41%) e burro (30%). Tali preferenze rispecchiano le abitudini di consumo precedentemente dichiarate dai rispondenti. È interessante notare come tra i rispondenti che non consumano carne bovina, il 10% dichiara di essere interessata a provare la carne prodotta in questo modo. In modo simile, il 20% dei consumatori che dichiarano di non consumare prodotti lattiero caseari bovini, sono interessati a provare almeno un prodotto tra latte, formaggio, yogurt o burro. Questi consumatori potrebbero quindi rappresentare un settore di mercato che non consuma tali prodotti per ragioni ambientali e/o etiche, ma se posti davanti all'opportunità di un prodotto maggiormente sostenibile dimostrano un certo livello di interesse. Infine, la maggior parte dei consumatori (72%) ha risposto che sarebbe maggiormente incentivata ad acquistare questi prodotti se possedesse maggiori informazioni circa la tracciabilità del prodotto e sulla filiera produttiva.

Infine, sono state poste delle domande sulla disponibilità a pagare per questi prodotti nel caso in cui sia garantita un'alimentazione dei bovini con almeno il 60% di foraggi polifiti, in linea con le indicazioni del progetto di ricerca. Per analizzare le risposte di questa domanda sono state utilizzati solamente i consumatori che si occupano effettivamente dell'acquisto di tali prodotti. Si evince che circa il 50% degli interessati sarebbe disposta a pagare il 20% in più (rispetto al prezzo del prodotto convenzionale) per questi prodotti, mentre solo il 20% sarebbe disposto a pagare il 40% in più e solamente il 2% il 60% in più. Infine, il 20% degli interessati vorrebbe pagare lo stesso prezzo, mentre il 5% vorrebbe pagare di meno.

3.4 Discussione dei risultati

Il campione analizzato esprime una serie di riflessioni sulla filiera grass-fed e sulle sue possibili implicazioni. I rispondenti infatti dimostrano di avere diverse percezioni riguardo alla filiera grass-fed con particolare ri-

ferimento agli aspetti di sostenibilità e di etica. Da un lato, la filiera grass-fed può essere percepita come un'opzione più rispettosa per l'ambiente e per il benessere degli animali utilizzati per la produzione dei prodotti alimentari. In tal senso, una parte dei rispondenti sottolinea che potrebbe considerare l'acquisto e il consumo a patto di avere maggior certezze di una filiera produttiva in linea con le dinamiche naturali, come peraltro supportato dalla letteratura in materia (Stampa et al., 2020). Dall'altro, i rispondenti sembrano anche orientati a richiedere la massima trasparenza possibile, attraverso l'erogazione di informazioni relative alla tracciabilità dei prodotti finali e la trasparenza assoluta sulla filiera produttiva, anche in questo caso in linea con la letteratura (Stampa and Zander, 2022; Olhau et al., 2023).

Ai due aspetti orientati alla sostenibilità ambientale e all'etica, dall'indagine emerge un altro aspetto di primaria importanza, ossia la disponibilità a pagare. In tal senso, la willingness-to-pay può variare notevolmente tra i consumatori (Xue et al., 2010; Evans et al., 2011; Risius and Hamm, 2017). Nel presente studio emerge che la maggioranza assoluta dei rispondenti sarebbe disposta a riconoscere un maggior valore importante ai prodotti grass-fed, rispetto agli analoghi da filiera convenzionale. Questo è un risultato che supporta altri studi (Xue et al., 2010; Evans et al., 2011; Risius and Hamm, 2017), evidenziando una crescente sensibilità nei confronti di prodotti a filiera produttiva più gentile con la natura.

4 Conclusioni

Questo studio rappresenta una prima ricostruzione dell'interesse dei consumatori piemontesi verso una filiera bovina erba-fieno. I risultati ottenuti evidenziano un interesse diffuso per le produzioni grass-fed, corroborato da un supporto nella spesa che fa bene sperare in una implementazione di un mercato specificato dedicato ai prodotti grass-fed. Come abbiamo visto, i rispondenti sono interessati alle caratteristiche intrinseche dei prodotti alimentari, alla sostenibilità ambientale e al benessere animale. Allo stesso tempo, vi è un interesse specifico per la trasparenza di filiera, denotando che il campione coinvolto potrebbe essere mosso dalla necessità di metabolizzare in maniera maggiormente strutturata alcuni fattori come, ad esempio, l'educazione alimentare, la conoscenza delle diverse pratiche agricole, l'integrazione del concetto di sostenibilità ambientale in allevamento. In tal senso, futuri studi e approfondimenti potranno essere orientati all'analisi di tali fattori, supportando ulteriormente la diffusione della conoscenza in ambito alimentare.

References

- BUSCH, G., KÜHL, S., GAULY, M. (2018). Consumer expectations regarding hay and pasture-raised milk in South Tyrol. *Austrian Journal of Agricultural Economics and Rural Studies*, 27, 79-86.
- CHENG, Z., O'SULLIVAN, M.G., KERRY, J.P., DRAKE, M.A., MIAO, S., KAIBO, D., KILCAWLEY, K.N. (2020). A cross-cultural sensory analysis of skim powdered milk produced from pasture and non-pasture diets. *Food Research International*, 138, 109749.
- CORCORAN, L.C., SCHLICH, P., MOLONEY, A.P., O'RIORDAN, E., MILLAR, K., BOTINESTEAN, C., GALLAGHER, E., O' SULLIVAN, M.G., CROFTON, E.C. (2023). Comparing consumer liking of beef from three feeding systems using a combination of traditional and temporal liking sensory methods. *Food Research International*, 168, 112747.
- EVANS, J.R., D'SOUZA, G.E., COLLINS, A., CHERYL, B., SPEROW, M. (2011). Determining consumer perceptions of and willingness to pay for appalachian grass-fed beef: an experimental economics approach. *Agricultural and Resource Economics Review*, 40(2), 233-250.
- GARCÍA-TORRES, S., LÓPEZ-GAJARDO, A., MESÍAS, F.J. (2016). Intensive vs. free-range organic beef. A preference study through consumer liking and conjoint analysis. *Meat Science*, 114, 114-120.
- GERBER, P.J., STEINFELD, H., HENDERSON, B., MOTTET, A., OPIO, C., DIJKMAN, J., FALCUCCI, A., TEMPIO, G. (2013). *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- GETTER, K.L., BEHE, B.K., CONNER, D.S., HOWARD, P.H. (2014). Pasture-raised milk: the market for a differentiated product. *Journal of Food Products Marketing*, 20(2), 146-161.
- KRESOVA, S., GUTJAHR, D., HESS, S. (2022). German consumer evaluations of milk in blind and nonblind tests. *Journal of Dairy Science*, 105(4), 2988-3003.
- KREUZER, M., PERVIER, S., TURILLE, G., KARPATCHEVA, M., JULIUS, N., OREILLER, C., BERARD, J. (2021). Beef quality in two autochthonous Valdostana breeds fattened in alpine transhumance: effect of lowland finishing and meat ageing. *Italian Journal of Animal Science*, 20(1), 267-278.
- MAUGHAN, C., TANSAWAT, R., CORNFORTH, D., WARD, R., MARTINI, S. (2012). Development of a beef flavor lexicon and its application to compare the flavor profile and consumer acceptance of rib steaks from grass-or grain-fed cattle. *Meat science*, 90(1), 116-121.

- OHLAU, M., MÖRLEIN, D., RISIUS, A. (2023). Taste of green: Consumer liking of pasture-raised beef hamburgers as affected by information on the production system. *Food Quality and Preference*, 107, 104839.
- PEIRA, G., CORTESE, D., LOMBARDI, G., BOLLANI, L. Grass-fed milk perception: Profiling Italian consumer. *Sustainability*. 2020; 12: 10348.
- RICHARDS, S., VASSALOS, M. (2023). Marketing opportunities and challenges for locally raised meats: An online consumer survey in South Carolina. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 12(2), 159-184.
- RISIUS, A., HAMM, U. (2017). The effect of information on beef husbandry systems on consumers' preferences and willingness to pay. *Meat science*, 124, 9-14.
- RITCHIE, H., ROSADO, P., ROSER, M. (2017) – “Meat and Dairy Production”. Published online at OurWorldInData.org.
- STAMPA, E., ZANDER, K. (2022). Backing biodiversity? German consumers' views on a multi-level biodiversity-labeling scheme for beef from grazing-based production systems. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133471.
- STAMPA, E., SCHIPMANN-SCHWARZE, C., HAMM, U. (2020). Consumer perceptions, preferences, and behavior regarding pasture-raised livestock products: A review. *Food Quality and Preference*, 82, 103872.
- XUE, H., MAINVILLE, D., YOU, W., NAYGA JR, R.M. (2010). Consumer preferences and willingness to pay for grass-fed beef: Empirical evidence from in-store experiments. *Food Quality and Preference*, 21(7), 857-866.

Sustainability or greenwashing? The role of Life Cycle Assessment in the ESG narratives of the agrifood sector

Giuliana Vinci

Sapienza University of Rome

Fabrizio D'Ascenzo

Sapienza University of Rome

Marco Ruggeri

Sapienza University of Rome

Mary Giò Zaki

Sapienza University of Rome

ABSTRACT

Corporate sustainability is generally communicated by organizations in their environmental, social, and governance (ESG) reports, in which they publish information about their Corporate Social Responsibility (CSR). However, many ESGs are often self-reports that may be partially truthful, thus falling under 'greenwashing', a strategy that aims to create a positive public image by falsely declaring the sustainability of one's operations. This could be particularly critical in the agri-food sector, which generates around 17.3 billion tons of carbon dioxide per year (35% of anthropogenic greenhouse gas emissions). Therefore, companies could be recommended to use quantitative methodologies such as Life Cycle Assessment (LCA) with which to identify their emissions and communicate them objectively to stakeholders. In light of this, this research aims to analyze whether and to what extent the LCA is present in the ESG narratives of agrifood companies globally, and to understand whether they might therefore fall into greenwashing practices. For this, the Global Fortune 500 agri-food companies, the world's top five hundred companies by revenue, were considered. The results show that LCA is still little used by agri-food companies, with only 1/4 of the sample considered (8 out of 30 companies) using it. This is indicative of how companies are still particularly reluctant to show their emissions, as they may contradict their sustainability narratives, and this may reinforce the belief that many companies are not making significant efforts to engage in sustainability strategies but are increasingly encountering greenwashing.

KEYWORDS: *Greenwashing; ESG; Life Cycle Assessment; Corporate Social Responsibility*

1 Introduction

According to the latest report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), global greenhouse gas emissions were about 21

Gt CO₂ eq in 2019, up +54% since 1990 (IPCC, 2023). In this context, the agri-food sector is responsible for 1/3 of total anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions (Tubiello et al., 2021), accounting for 20-40% of anthropogenic emissions (Rosenzweig et al., 2020). This is fueled by the sector's production system: agriculture uses about half of the world's vegetated land, consumes 70% of the world's freshwater, and drives land-use change (Tubiello et al., 2022). Both pre-and post-production processes, such as retail and household consumption, contribute to the unsustainability of the system. In the face of projected population growth (10 billion by 2050) and the challenging goals proposed by the 2030 Agenda (Boehm et al., 2022), the centrality of food in climate change mitigation strategies is recognized, as is the importance of identifying strategies for sustainable production. Although the scientific community supports a shift to low-carbon production systems, it is of paramount importance to assess the environmental impacts of production chains and communicate them transparently to stakeholders. This element is confirmed by the widespread practice of storytelling the ESG positioning of companies (Stewart et al., 2018). These are reports, in which companies publish information about their Corporate Social Responsibility (CSR), which implies not only the achievement of profit but also the protection of the environment and the respect of stakeholders' rights. An ESG can be drawn up according to different guidelines such as those defined by the Global Reporting Initiative (GRI), which regulates the agri-food sector through the recently published 'GRI 13: Agriculture, Aquaculture, and Fisheries 2022', a standard that allows any organization to report on its impact on the economy, the environment and people in a comparable and credible way, and which will come into force on 1 January 2024. However, most ESGs, which are mandatory for large European public-interest companies (Directive 2014/95/EU), are often self-declarations in which the company admits its commitment to the environment and society, which may, however, be partly true or cosmetic statements, falling into the category of *greenwashing*. *Greenwashing* refers to a strategy used by companies in which they exaggerate or claim false sustainability of their operations, with the aim of creating a positive public image without making substantial efforts to adopt truly sustainable practices (Li et al., 2023). Therefore, a recommendation for companies could be the use of quantitative methodologies, with which to identify their emissions and understand possible solutions to their sustainability problems, for objective (and not vague) communication with stakeholders. These methodologies include the Life Cycle Assessment (LCA) (ISO, 2006), recommended by the Ten Principles of the UN Global Compact (particularly in Principle 8 '*take steps to promote greater environmental responsibility*' and Principle 9

'encourage the development and diffusion of environmentally sound technologies', and widely used in the literature (Ismail et al., 2021) to quantify the environmental impact of a product and process and its interactions with the environment throughout its life cycle (Chen, 2019). Therefore, in light of the above, this research aims to analyze whether and to what extent the LCA is present and widespread in the ESG narratives of companies in the agri-food sector and to understand whether they may be falling back on *greenwashing* or are making serious efforts to improve the impact of their activities. The ESG of agrifood companies in the Global Fortune 500, the world's top five hundred companies by turnover, has been analyzed for the assessment.

2 Methodology

The Global Fortune 500, i.e., the list of the world's top 500 companies by revenue (for their respective fiscal years ending by March 31, 2023), compiled by Fortune, was considered for evaluation. Only companies belonging to the agrifood sector were considered (Table 1), identifying a cluster for analysis by applying the following sector filters, to which the industry filters were then associated:

- Food, Beverage & Tobacco: 13 companies, including 10 in Food production and 3 in Food consumer products,
- Food & Drug Store: 17 companies, just in the Food & Drug Store industry.

The choice to consider the above categories is based on the need to assess how all actors in the agri-food sector define their ESG profile. This same choice is justified by the increasing number of emissions produced in the pre-and post-production phases of the sector (+45% between 2000 and 2020) (FAO, 2021), as well as the role that sustainable distribution can play in both better added-value distribution and greater sustainability (Filippi & Chapdaniel, 2021). To conduct the study, the sustainability report was identified and entirely read for all 30 companies, and the methodology applied to define the strategic performance indicators was analyzed. In detail, it was analyzed whether it was planned to apply LCA methodologies in quantifying the environmental impacts of products and services, then communicated with stakeholders in the ESG narrative.

Sector	#	Name	Revenues	Profits
Food, Beverage & Tobacco	98	Archer Daniels Midland	\$101,556	\$4,340
	174	Wilmar International	\$73,399	\$2,403
	177	JBS	\$72,626	\$2,995
	194	Bunge	\$67,232	\$1,610
	228	Louis Dreyfus	\$59,931	\$1,006
	266	Tyson Foods	\$53,282	\$3,238
	298	CHS	\$47,792	\$1,679
	363	New Hope Holding Group	\$41,426	\$8
	392	Nutrien	\$37,884	\$7,660
	481	CJ Corp.	\$31,703	\$157
	106	Nestlé	\$98,931	\$9,712
	135	PepsiCo	\$86,392	\$8,910
	487	Mondelez International	\$31,496	\$2,717
	Food & Drug Store	58	Kroger	\$148,258
66		Walgreens Boots Alliance	\$132,703	\$4,337
121		Royal Ahold Delhaize	\$91,486	\$2,678
125		Carrefour	\$90,062	\$1,418
156		Tesco	\$79,687	\$903
164		Albertsons	\$77,650	\$1,514
189		AEON	\$67,985	\$159
255		Publix Super Markets	\$54,942	\$2,918
335		Woolworths Group	\$44,126	\$5,754
336		George Weston	\$43,838	\$1,396
390		J. Sainsbury	\$37,910	\$249
398		X5 Retail Group	\$37,494	\$651
422		Finatis	\$35,851	\$-155
423		ELO Group	\$35,799	\$35
435		Coop Group	\$34,684	\$589
448		Magnit	\$33,849	\$402
485	Migros Group	\$31,576	\$491	

Table 1 – Agri-food sector company from Global Fortune 2023(\$ MLN)

3 Results and Discussions

The analysis conducted on 30 companies in the agri-food sector found that 8 companies (25%), out of the 30 identified, stated in their narrative reference to the use of LCA methodology for quantifying their environmental performance (Table 2). In this regard, *CJ Cheiljedang*, Korea's leading producer of sugar and global bioproducts such as nucleic acid, lysine, tryptophan, and valine, is the only company that for the "Food production" claims to use LCA methodology. In fact, the company has adopted the LCA to define "*Product LCA Guidelines*" covering from the upstream to the downstream of the supply chain and identifying the potential environmental impacts of activities with a view to climate change.

In the "*Food Consumer Products*" category, all three companies identified include the LCT approach. In fact, *Nestlé*, a multinational company active in the food sector, highlighted in its latest sustainability report the calculation of the reduction of emissions associated with its coffee capsules between the period 2009 (–24%) and 2020 through LCA methodology. *PepsiCo*, a multinational company with a presence in more than 200 Countries selling enjoyable beverages, has adopted an LCT approach in its *PepsiCo* Positive strategy. In detail, it appears that the approach has been adopted in product design, with the aim of making them more sustainable as well as building transparent communication with consumers.

Company	Country	Core business	Presence of LCA in ESG narratives
Archer Daniels Midland	USA	Oilseeds, cereals, cocoa	
Wilmar International	Singapore	Oilseeds, tropical oils	
JBS	Brazil	chicken, beef and pork	
Bunge	USA	Soy, wheat	
Louis Dreyfus	Netherlands	Agricultural products, rice	
Tyson Foods	USA	chicken, beef and pork	
CHS	USA	food processing and wholesale activities	
New Hope Holding Group	China	feed, meat, dairy, and egg products	
Nutrien	Canada	crop inputs and services	

CJ Corp.	South Korea	sugar, food and drink	×
Nestlé	Switzerland	Conglomerate	×
PepsiCo	USA	Carbonated drinks	×
Mondelez International	USA	Sweets	×
Kroger	USA	Retail	
Walgreens Boots Alliance	USA	Conglomerate	
Royal Ahold Delhaize	Netherlands	Retail	
Carrefour	France	Retail	×
Tesco	UK	Retail	
Albertsons	USA	Retail	
AEON	Japan	Retail	
Publix Super Markets	USA	Retail	
Woolworths Group	Australia	Retail	
George Weston	Canada	Retail	×
J. Sainsbury	UK	Retail	×
X5 Retail Group	Russia	Retail	
Finatis	France	Retail	
ELO Group	France	Retail	×
Coop Group	Switzerland	Retail	
Magnit	Russia	Retail	
Migros Group	Switzerland	Retail	
TOTAL			8

Table 2 – Presence of LCA in the ESG of agrifood companies (Fortune, 2023)

In contrast, in the latest report from *Mondelez International*, the leading global cookie manufacturer, the company said that the LCA highlights the company's prioritization. Indeed, the application of the tool has

identified deforestation as the most impactful element throughout the supply chain, urging suppliers to identify sustainable strategies. In the Food Drugs and Stores category, only four companies declared in non-financial reporting their commitment to adopting standardized methodologies for quantifying the environmental impacts of their products and services toward achieving sustainability goals. *Carrefour Group*, a French supermarket and hypermarket chain, stated in its latest non-financial statement that it adopts LCA databases for calculating its biodiversity footprint to identify pressure factors, as well as the results of available scientific publications. While *George Weston*, Canada's largest food and drug retailer, plans to use the LCA for quantifying CO₂ emissions produced, evidence for this has been identified in the carbon neutrality plan in Scope 3. *J. Sainsbury*, the second largest supermarket chain in the United Kingdom, is the third company that has planned to adopt the LCA to assess the environmental impacts of its products. In detail, the company has applied the LCA methodology to quantify its achievements under the Plan for Better, which encapsulates the company's sustainability goals. As an example, thanks to the LCA methodology, it has been confirmed that the emissions produced in cattle breeding are 25% lower than the industry average. The focus on standardized calculation methodologies is also evident in the Plan for Better update, where in reference to Scope 3 the company states a focus by the company on the use of life cycle calculation methodologies by suppliers as well. *ELO Group*, a group of three companies with complementary businesses such as *Auchan*, on the other hand, is committed to offering its customers products with a lower environmental impact and to do so it adopts eco-design solutions supported by an LCA analysis. It also calculates the GHG emissions of products sold by considering scopes 1, 2, and 3 calculated through LCA of individual products. What emerges from analysis of company publications, however, is that there is a strong interest in the industry in reducing the full life cycle impacts of products, it has not always been possible to confirm the use of LCA methodologies in assessments. Another important issue is that in no case has been found the use of the S-LCA methodology, a variant of LCA for assessing the social impacts associated with the life cycle of a product or service.

4 Main considerations

- Several considerations can be made from this analysis:
- LCA is still little used in the ESG narratives of agri-food companies globally, with only 1/4 of the sample considered using it to quantify their emissions. It is predominantly used in the retail

sector with 50% of the sample (8 out of 4 companies). This could be traced back to their greater resources and infrastructure for sustainability reporting.

- On the other hand, the absence of LCA in ESG reports shows that companies in the agri-food sector are not used to working with this tool, which therefore remains underused in the agri-food sector. There are a few probable reasons for this. Firstly, because of a question of perceived complexity. Indeed, LCA implies a comprehensive assessment of the environmental impacts of a product or process, and its implementation may require substantial expertise and resources (Goedkoop et al., 2015; Testa et al., 2016). But also, for a question of unfavorable results: in fact, LCA results can sometimes reveal negative environmental impacts associated with a company's products or processes, and companies might be reluctant to use LCA if it would highlight areas where they need improvement and thus lead to a contradiction about their sustainability claims (Stewart et al., 2018). Or finally, as a matter of discomfort for stakeholders. Indeed, LCA might provide uncomfortable results for stakeholders, such as investors and customers, who might prefer a more positive image of the company (Wang and Yang, 2023). Companies might also fear that the disclosure of potentially negative information could damage their reputation or marketability.
- If LCA is little considered in ESG narratives, the other LCA tools (S-LCA and LCC) are not used at all. In fact, there are no references to either S-LCA or LCC in the 30 reports analyzed. As for S-LCA, although it lacks an ISO standard for standardization, guidelines are nevertheless provided, but none of the companies considered in the study used it. This absence could indicate that these tools are not yet sufficiently mature or commonly used in the industry. But it could also suggest a lack of awareness or willingness on the part of these companies to incorporate this specific approach into their sustainability reporting, showing how the economic and social dimensions of sustainable development are little considered.

It thus appears that companies' ESG reports often seem like generic and vague declarations of intent, showing how few companies are actually willing to quantify their emissions and show them to stakeholders and consumers. This is because showing the emissions of their activities may contradict their own sustainability narratives. Thus, a concern arises that if companies do not provide transparent, quantitative, and accurate information on their environmental impact, this could lead to

greenwashing, making their products appear more sustainable than they actually are. By expanding the use of LCA and related tools in ESG narratives, companies could demonstrate a genuine commitment to sustainability and avoid misleading stakeholders, as well as situations of greenwashing.

Conclusions

The objective of the research was to analyze whether and to what extent the LCA is present in the ESG narratives of companies in the agri-food sector, and whether they are making serious efforts to improve the impact of their activities. The ESG narratives of Global Fortune 500 agrifood companies, the top five hundred companies in the world by revenue, were therefore analyzed and it was verified whether these companies actually use LCA to quantify their emissions. The results show that the LCA is still little used in the ESG narratives of agrifood companies globally, with only 8 out of 30 companies (1/4 of the sample considered) using it to quantify their emissions, of which 4 (50%) are from large-scale retailers. Therefore, it seems as if companies' ESG reports actually appear as self-declarations in which they manifest their future intentions or show what they have done for their stakeholders, without actually quantifying the emissions generated during the lifecycle of their products. On the other hand, other sustainability tools such as S-LCA and LCC are not considered. The results of this research, albeit preliminary, show that companies are still particularly reluctant to show their emissions, as this may contradict their sustainability narratives. This, therefore, leads to the reinforcement of the belief that many companies are not making significant efforts to engage in sustainability strategies, but are increasingly engaging in greenwashing, making their products appear more sustainable than they actually are. Therefore, by expanding the use of LCA and related tools in ESG narratives, companies could demonstrate a serious and concrete commitment to sustainability and avoid misleading stakeholders as well as greenwashing situations.

References

- BOEHM, S., JEFFERY, L., LEVIN, K., HECKE, J., SCHUMER, C., FYSON, C., GEIGES, A. (2022). State of Climate Action 2022.
- CARREFOUR (2023). Corporate social responsibility and performance. Available online at: <https://www.carrefour.com/en/csr/reference-documents>.
- CHEN Z., HUANG L. (2019). Application review of LCA (Life Cycle Assessment) in circular economy: From the perspective of PSS (Product Service System).
- CJ CHEILJEDANG. (2023). Sustainability Report 2022. Nature to Nature. Available on: <https://www.cj.co.kr/en/about/sustainability/report>.
- COMPACT, U.G. (2006). UN global compact. New York.[Online.] Available from <http://www.unglobalcompact.org>.
- DIRECTIVE 2014/95/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 amending Directive 2013/34/EU as regards disclosure of non-financial and diversity information by certain large undertakings and groups Text with EEA relevance.
- ELO (2023). Annual financial report non-financial performance statement. Available on: https://groupe-elo.com/app/uploads/2023/03/AUC2022_RFA_EN_17-05-2023.pdf.
- FAO. 2022. Greenhouse gas emissions from agrifood systems. Global, regional and country trends, 2000-2020. FAOSTAT Analytical Brief Series No. 50. Rome, FAO.
- FILIPPI, M., CHAPDANIEL, A. (2021). Sustainable demand-supply chain: An innovative approach for improving sustainability in agrifood chains. *International Food and Agribusiness Management Review*, 24(2), 321-335.
- FORTUNE. (2023). Fortune Global 500. Available on: <https://fortune.com/ranking/global500/>.
- GEORGE WESTON. (2023). 2022 Environmental, Social and Governance Report. Available on: https://www.weston.ca/en/pdf_en/GWL-ESG-Report-2022-EN.pdf.
- GOEDKOOP, M., MIERAS, E., GAASBEEK, A., CONTRERAS, S. (2015). How to make the life cycle assessment team a business partner. In G. Sonneman, & M. Margni (Eds). *LCA compendium-The complete world of life cycle assessment. Life cycle management*. Springer Netherlands.
- GRI (Global Reporting Initiative). 2013. G4 sustainability reporting guidelines: Reporting principles and standard disclosure. Amsterdam: GRI.

- IPCC, 2023: Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- IPCC, Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- ISMAIL, N.B., ALCOUFFE, S., GALY, N., CEULEMANS, K. (2021). The impact of international sustainability initiatives on Life Cycle Assessment voluntary disclosures: The case of France's CAC40 listed companies. *Journal of Cleaner Production*, 282, 124456.
- ISO (2006). ISO 14044:2006. Environmental management-Life Cycle Assessment-Requirements and guidelines. International Organization for Standardization. Retrieved from http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=38498.
- LI, Z., LING, Z., XU, S. (2023). When firms talk, do they act? The impact of environmental strategies and actions on executive promotion in China. *China Economic Review*, 82, 102061.
- KÜHNEN, M., HAHN, R. (2017). Indicators in social life cycle assessment: a review of frameworks, theories, and empirical experience. *Journal of Industrial Ecology*, 21(6), 1547-1565.
- MARTÍNEZ-BLANCO, J., LEHMANN, A., CHANG, Y.J., FINKBEINER, M. (2015). Social organizational LCA (SOLCA) – a new approach for implementing social LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(11).
- MONDELEZ INTERNATIONAL. (2023). 2022 ESG Report. Available on: <https://www.mondelezinternational.com/assets/Snacking-Made-Right/SMR-Report/2022/2022-MDLZ-Snacking-Made-Right-ESG-Report.pdf>.
- Nestlé. (2023). *Creating Shared Value and Sustainability Report 2022*. Available on: <https://www.nestle.com/sites/default/files/2023-03/creating-shared-value-sustainability-report-2022-en.pdf>
- PEPSICO. Sustainable product design. Available on: <https://www.pepsico.com/our-impact/esg-topics-a-z/sustainable-product-design>.

- ROSENZWEIG, C., MBOW, C., BARIONI, L.G., BENTON, T.G., HERRERO, M., KRISHNAPILLAI, M., PORTUGAL-PEREIRA, J. (2020). Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nature Food*, 1(2), 94-97.
- SAINSBURY, J. (2023). Our reduced carbon beef: beef that's Better for the Planet. Available on: <https://www.about.sainsburys.co.uk/sustainability/plan-for-better/our-stories/2023/reduced-carbon-beef>.
- SAINSBURY, J. (2023). Sainsbury's Plan for Better. 2022/23 sustainability update. Available on: <https://about.sainsburys.co.uk/-/media/Files/S/Sainsburys/CRS%20Policies%20and%20Reports/Plan%20For%20Better%20Report%202022-23.pdf>.
- STEWART R., FANTKE P., BJORN A., OWSIANKI M., MOLIN C., HAUSCHILD MZ., LAURENT (2018) A. Life cycle assessment in corporate sustainability reporting: Global, regional, sectoral and company-level trends. *Business strategy and the environment*. 27:1751-1764.
- TESTA F., NUCCI S., TESSITORE S., IRALDO F., DADDI T. (2016). Perceptions on LCA implementation: Evidence from a survey on adopters and nonadopters in Italy. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(10), 1501-1514.
- TUBIELLO, F.N., KARL, K., FLAMMINI, A., GÜTSCHOW, J., OBLI-LARYEA, G., CONCHEDDA, G., TORERO, M. (2022). Pre-and post-production processes increasingly dominate greenhouse gas emissions from agri-food systems. *Earth System Science Data*, 14(4).
- TUBIELLO, F.N., ROSENZWEIG, C., CONCHEDDA, G., KARL, K., GÜTSCHOW, J., XUEYAO, P., SANDALOW, D. (2021). Greenhouse gas emissions from food systems: building the evidence base. *Environmental Research Letters*, 16(6), 065007.
- WANG, L., YANG, L. (2023). Environmental, social and governance performance and credit risk: Moderating effect of the corporate life cycle. *Pacific-Basin Finance Journal*, 80, 102105.

Stime regionalizzate delle emissioni enteriche di metano da bovini allevati sul territorio italiano

Bruno Notarnicola

Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Gianfranco Umile Spizzirri

Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Pietro Alexander Renzulli

Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Francesco Astuto

Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Rosa Di Capua

Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Maurizio De Molfetta

Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Donatello Fosco

Università degli Studi di Bari Aldo Moro

ABSTRACT

Nell'ambito dell'attività del Partenariato Esteso "Sostenibilità economico-finanziaria dei sistemi e dei territori" (Progetto GRINS Spoke 1, WP3), il presente lavoro propone una stima regionale della quantità di metano enterico prodotto dai bovini allevati sul territorio italiano. Tali dati saranno utilizzati per la creazione di datasets nazionali e regionali che saranno parte integrante della piattaforma AMELIA e che potranno essere sfruttati gratuitamente da manager pubblici e privati per le valutazioni di impatto ambientale nel settore zootecnico. A tale scopo, l'IPCC (livello 2) fornisce modelli statistici capaci di valutare tale parametro, tenendo conto di popolazione, incremento ponderale giornaliero, peso dell'animale, tipologia di allevamento e razione alimentare di ogni razza considerata. In particolare, nel calcolo delle emissioni enteriche sono state considerate 37 razze pure a diversa attitudine (latte, carne e duplice), la cui popolazione risulta rilevante (>1%) a livello nazionale e/o regionale e, per ogni singola razza, sono state considerate sei classi che tengono conto dell'età e del sesso del bovino. A queste sono state aggiunte 22 razze meticce, 21 riferite ad ogni regione ed una all'intero territorio nazionale. Le emissioni regionali sono state stimate considerando la popolazione media di ogni razza nel periodo 2019-2022, normalizzando i contributi delle singole specie presenti in un delimitato territorio e/o area geografica. Sono stati così calcolati sei contributi (3 classi di età e due sessi) per ogni regione italiana, che rappresentano una valutazione statistica delle emissioni che andranno successivamente confermate sul campo tramite misurazioni dirette attraverso innovative tecnologie strumentali.

PAROLE CHIAVE: GRINS; allevamento bovini; emissioni enteriche; dataset regionali; IPCC.

1 Introduzione

Il metano (CH_4) rappresenta un importante gas serra che impatta considerevolmente sulle alterazioni climatiche presentando un GWP_{100} pari a 28,5, valore che diventa circa tre volte superiore nel breve-medio periodo, con GWP_{20} pari a 85 (Balcombe et al., 2018). Dati di letteratura confermano come, rispetto alla CO_2 , i tempi di permanenza in atmosfera del CH_4 appaiono notevolmente inferiori (10-15 anni contro migliaia di anni) (del Prado et al., 2023), suggerendo come un'efficace strategia capace per contrastare i cambiamenti climatici potrebbe essere rappresentata da una riduzione tempestiva delle emissioni di metano (Global Methane Pledge, 2021).

In questo contesto, il settore agricolo occupa un ruolo primario, essendo responsabile nell'ultimo decennio di circa il 20-25% delle emissioni totali di gas serra a livello globale (IPCC, 2019a). A livello nazionale, il CH_4 generato dall'agricoltura nel 2020 è risultato pari a 19,3 Mt di CO_2 equ, rappresentando il 5,1% delle emissioni di tutti i gas serra generati annualmente in Italia (ISPRA 2022). All'interno del settore primario, l'allevamento svolge un ruolo significativo sul cambiamento climatico, rappresentando il 91,7% delle emissioni di CH_4 e il 4,6% di quelle di gas serra totali, in linea con i dati riportati in letteratura (Gerber et al. 2013). In particolare, gli allevamenti dei ruminanti forniscono un importante contributo alla produzione di gas a effetto serra, producendo globalmente circa 90 milioni di tonnellate, che rappresentano circa il 30% delle emissioni antropogeniche globali di CH_4 (Global Methane Initiative, 2023), con variazioni significative tra i vari paesi e tra le regioni all'interno dei singoli paesi. La sorgente di gran lunga più rilevante del settore agricoltura è rappresentata dalla fermentazione enterica, che ha luogo nell'apparato digerente dei ruminanti. Tale sorgente ha rappresentato nel 2020 il 70,2% delle emissioni di CH_4 dal settore agricoltura, seguite dalla gestione delle deiezioni con il 21,5% e dalla coltivazione del riso con l'8,2% (ISPRA, 2022). Dati di letteratura individuano nel CH_4 enterico il principale contributore del settore agricolo al riscaldamento globale (65-85%), seguito dalle emissioni di gas serra derivante dalla gestione del letame (10-12%) (Costantini et al., 2021). Questi ultimi sono per lo più (91%) rappresentati da N_2O , sia diretto che indiretto, mentre la fase agricola contribuisce in percentuali non superiori al 4-5% (Costantini et al., 2021: 269-281). In tale contesto, la fermentazione enterica che avviene nell'apparato digerente dei bovini

rappresenta la principale fonte di CH₄ (79,6% secondo i dati relativi al 2020), seguita da quella di ovini (9,3%) e bufalini che producono il 5,8% del CH₄ enterico (ISPRA, 2022).

Dati di letteratura propongono diversi modelli di analisi dell'intero ciclo di vita (Life Cycle Assessment) in grado di valutare le emissioni di gas serra provenienti da diversi sistemi di produzione di carne bovina in vari paesi dell'Unione Europea (Irlanda, Francia, Italia e Spagna) (Buratti et al., 2017; O'Brien et al. 2020; Vitali et al., 2018). Gli studi suggeriscono diverse strategie per ridurre tali emissioni, ma ci sono variazioni nei risultati a causa di differenze nelle condizioni locali e nelle metodologie utilizzate (Zucali et al., 2020; Weiss e Leip, 2012). La maggior parte degli studi analizza principalmente specifiche categorie di impatto, come il cambiamento climatico, l'esaurimento delle risorse, l'eutrofizzazione e l'acidificazione che risultano essere le maggiori negli allevamenti dei bovini (Asem-Hiablue et al., 2019; Froidi et al., 2022).

Nell'ambito dell'attività del Partenariato Esteso "Sostenibilità economico-finanziaria dei sistemi e dei territori" (Progetto GRINS Spoke 1, WP3) e al fine del conseguimento della milestone "Set-up of LCI national and regional datasets for the main Italian production systems that will be part of AMELIA" e del Target "LCI national and regional dataset for the main Italian production system", il presente lavoro ha stimato le emissioni di CH₄ enterico per ciascuna delle regioni italiane in modo da produrre un quadro dettagliato della situazione esistente nelle specifiche aree territoriali. Questo lavoro si pone in continuazione con quanto gli autori stanno completando nell'ambito del progetto ILCIDAF "Italian Life Cycle Inventory of Agri food products", finanziato dal Prin 2017, con l'obiettivo di costruire una banca dati nazionale per le filiere dei principali alimenti nazionali (Notaricola et al., 2022).

Per ciò che riguarda la fase di allevamento dei bovini (fermentazione enterica e gestione dei reflui zootecnici), infatti, i datasets (84 in tutto) riportati nei principali database internazionali si riferiscono per la totalità a capi di bestiame allevati in territori esteri, in particolare Brasile Sud Africa e Nuova Zelanda (Tabella 1).

Età (mesi)	Nome	Database				Totale
		Ecoinvent 3	Agribalyse 3	Agri- footprint 5	World Food LCA Database	
6-12	Vitellino	10	9	/	/	28
	Vitellina	6	3			

12-24	Vitellone/ Torello	11	7	/	7	39
	Giovenca/ Manza	10	4			
> 24	Toro/Bue	3	2	1	/	16
	Vacca	5	6			
Totale		45	31	1	7	84

Tabella 1 – Dataset inerenti all'allevamento di bovini presenti nei principali database internazionali

In particolare, l'esigenza della creazione di dataset nazionali e regionali nasce dalla necessità di effettuare corrette valutazioni ambientali che prendano in considerazione la reale popolazione bovina locale (razza e attitudine), così come le pratiche di allevamento attuate (stallino, semi-stallino e pascolo) e le caratteristiche pedo-climatiche dello specifico territorio (colture foraggere e alimentazione).

La valutazione delle emissioni di CH_4 che andranno a comporre dataset nazionali e regionali, è stata effettuata utilizzando opportuni modelli matematici, (IPCC livello 2), in grado di considerare i diversi fattori che influenzano le emissioni del gas serra prodotto dalla fermentazione enterica nei bovini. La consistenza numerica e la massa degli animali allevati costituiscono i principali dati per una stima accurata delle emissioni. A tali parametri si aggiungono altri importanti dati quali la percentuale di animali al pascolo, l'incremento ponderale giornaliero, la quota di vacche che partoriscono, la produzione di latte unitaria e la percentuale di grasso nel latte, nonché la quantità e qualità della razione e il coefficiente di conversione in CH_4 della razione. Per ogni regione, sono state considerate diverse categorie, sulla base dell'età dell'animale e sono state valutate le emissioni giornaliere e annuali, riferite sia al peso di carne viva, sia al numero di capi di bestiame.

2 Metodologia

2.1 Popolazione bovina italiana

La sezione statistica del Sistema Informativo Veterinario del Ministero della Salute fornisce dati dettagliati, in merito alla popolazione delle specie bovine fornendo, per ogni singola regione italiana, una distinzione per razza, sesso e fascia di età (BDN 2022). In particolare, i dati riportati,

sono riferiti agli ultimi quindici anni e aggiornati semestralmente, mentre i capi risultano suddivisi in lattanti (0-6 mesi), vitellini (6-12 mesi), vitelloni, giovenche e manze (12-24 mesi), tori e vacche (più di 24 mesi). Nel seguente studio sono stati utilizzati i dati relativi al quadriennio 2019-2022 e per ogni regione sono state prese in considerazione le razze la cui popolazione media, nel periodo considerato, risulti maggiore o uguale all'1%.

2.2 Valutazione del CH₄ enterico

Le stime di CH₄ enterico sono state eseguite utilizzando i modelli proposti dall'IPCC (livello 2), che considera per ogni singolo animale una serie di parametri, tra cui l'accrescimento ponderale giornaliero, il peso, la tipologia di allevamento (stallino, semi-stallino e pascolo), il rapporto foraggio/mangime che caratterizza la razione alimentare e per le vacche in lattazione la quantità di latte giornaliero e la sua concentrazione percentuale di grassi (IPCC, 2019b). Per ogni categoria di età, le emissioni di CH₄ enterico sono state espresse come g di CH₄ per kg di carne viva (c.v.) al giorno. Analogamente, sono state calcolate le emissioni enteriche annuali tenendo in considerazione la popolazione presente per ogni categoria sul territorio regionale. Infine, sono state valutate le emissioni complessive per ogni regione, considerando il contributo aggregato di tutte le singole classi di età analizzate.

3 Discussione dei risultati

3.1 Selezione delle razze bovine presenti sul territorio italiano

La ricerca si è focalizzata, in particolare, sul quadriennio 2019-2022, in cui mediamente è stata registrata una popolazione di 5.582.393 capi, appartenenti a 110 razze diverse. La suddivisione per classe di età vede una predominanza della categoria che comprende bovini di età superiore a 24 mesi (45,6%), mentre la popolazione di sesso femminile cresce esponenzialmente con l'età, fino a raggiungere la quasi totalità (97,3%) per le vacche, utilizzate nella riproduzione e nella produzione di latte per l'industria lattiero-casearia. All'interno di tale distribuzione, l'andamento osservato per le diverse razze risulta strettamente collegato all'attitudine della specie bovina, che prevede principalmente razze specializzate nella produzione di carne e nella produzione di latte (> 90%). Accanto a queste specie è possibile considerare una terza categoria di bovini che presentano una duplice attitudine (latte e carne).

Nello specifico, considerando il quadriennio 2019-2022 e utilizzando un *cut-off* pari all'1% su base regionale è stato possibile individuare un set di razze bovine pure (37 in totale) e una razza meticcica, di importante rilevanza nazionale e/o caratteristiche di particolari aree e territori italiani. Di queste, quattro risultano specializzate nella produzione di latte (princi-

palmente bovini di razza Frisona, con il 42,1% della popolazione totale), tredici nell'allevamento di bovini destinati prevalentemente alla macellazione (prevalentemente Meticci con il 25,4% del totale), e il resto sono caratterizzati da una duplice attitudine.

L'analisi delle singole popolazioni mette in evidenza come la razza Frisona, specializzata nella produzione di latte, nel periodo 2019-2022, risulta essere quella più numerosa con più di 2,3 milioni di capi, mentre un quarto della popolazione bovina è rappresentato dai Meticci, ottenuti dall'incrocio di un toro specializzato nella produzione di carne con una vacca a duplice attitudine o specializzata nella produzione di latte.

Alcune delle razze considerate hanno una rilevanza nazionale molto esigua, tuttavia, a livello regionale il loro numero risulta essere molto consistente e in alcune regioni o aree geografiche rappresentano la razza preponderante. È il caso dei bovini di razza Valdostana in Valle d'Aosta o di quelli di razza Sarda e derivate in Sardegna, mentre percentuali rilevanti sono registrate per la razza Podolica nelle regioni dell'Italia Meridionale, così come Modicana e Cinisara in Sicilia, per non dimenticare la presenza lungo l'arco alpino e in pianura Padana di alcune razze autoctone, come la Grigio Alpina, la Reggiana, la Sprintzen Pustertaller o la Rendena, che in questi territori rappresentano una fetta non trascurabile di popolazione bovina.

Per ciò che riguarda la razza Meticcica, questa è stata costruita considerando il contributo delle singole razze e ipotizzando che l'incrocio avesse il 50% delle caratteristiche dei tori di razze specializzate nella produzione di carne, e il 50% delle caratteristiche delle vacche specializzate nella produzione di latte o con duplice attitudine. Per ogni singola regione è stato costruito un meticcio regionale e il contributo di ogni singola razza pura al singolo meticcio è stato valutato considerando la popolazione regionale di ogni razza, utilizzando solo quelle specie presenti in percentuale maggiore o uguale all'1% in ognuna delle due categorie impiegate per l'incrocio (tori razze con attitudine carne e vacche razze con attitudine latte o duplice).

Alle razze pure precedentemente elencate, sono state così aggiunte altre 21 razze meticce, specifiche per ogni regione, che tengono conto localmente dei diversi incroci che teoricamente potrebbero aver luogo.

Le razze considerate nel presente studio coprono una popolazione di 5.563.668 di capi, garantendo una rappresentatività del campione considerato pari al 99,7% dei bovini presenti sull'intero territorio nazionale. Di contro, le 72 razze non considerate rappresentano una fetta trascurabile di bovini, sia a livello nazionale, che a livello regionale.

3.2 Stima delle emissioni di CH₄ enterico

Al fine di valutare le emissioni correlate alla fermentazione enterica che ha luogo nei ruminanti, l'IPCC (2006) ha sviluppato e, successiva-

mente implementato, modelli predittivi generalmente stratificati in livelli a seconda del grado di complessità (IPCC2019a). Il livello 1 utilizza fattori di emissione predefiniti basati sulla letteratura generale a causa della scarsità di dati riferiti ad una regione o una specifica area geografica. Il livello 1 non considera la caratterizzazione dei sistemi di allevamento prevalenti in una regione, come le razze bovine, l'età degli animali, gli stati fisiologici, il livello di produttività e la dieta (assunzione e composizione). Il livello 2 si basa su fattori di emissione perfezionati che prendono in considerazione specifici parametri dipendenti dalla genetica del bovino, dalla sua età e dalla tipologia di allevamento e di alimentazione, anche in considerazione di quello che è il contesto orografico della regione considerata (IPCC 2019b). Infine, è richiesto il reperimento di specifici dati inerenti alle razze allevate sul territorio considerato, nonché le metodologie di allevamento praticate. Il livello 3 è specifico per regione sulla base di anni di ricerche approfondite inerenti alla particolare area geografica.

Le emissioni di CH₄ enterico da parte delle razze bovine selezionate presenti sul territorio italiano sono state stimate utilizzando la metodica riportata dall'IPCC (IPCC, 2019b), che a livello 2 considera per ogni singolo animale una serie di parametri tra cui l'accrescimento ponderale giornaliero, il peso, la tipologia di allevamento (stallino, semi-stallino e pascolo), il rapporto foraggio/mangime che caratterizza la razione alimentare e per le vacche in lattazione la quantità di latte giornaliero e la sua concentrazione percentuale di grassi. L'applicazione di tale metodologia ha permesso di calcolare, per ogni razza selezionata e per ogni categoria di età e sesso, le emissioni di CH₄ enterico, espresse come g di CH₄ per kg di c.v. al giorno. Partendo da tale valore e considerando il peso medio dell'animale appartenente ad ogni classe di età è possibile stimare il contributo dell'animale rappresentativo di ognuna delle classi calcolate.

Nello studio condotto sono state stimate le emissioni di CH₄ enterico in riferimento a sei delle otto classi di età considerate. In particolare, la categoria 0-6 mesi, sia per ciò che riguarda il sesso maschile che quello femminile, non è stata presa in considerazione poiché il suo contributo alla produzione di CH₄ enterico risulta molto ridotta. In tale fascia di età, infatti, il principale alimento risulta il latte (sia artificiale, sia seguendo la linea vacca-vitello), con un ridotto apporto di foraggi (fresche, secchi e insilati) e mangimi, che vengono introdotti in prossimità dei sei mesi di vita (Beauchemin et al., 2011). In questi bovini un completo sviluppo del rumine, con conseguente svezzamento del vitellino, si verifica generalmente tra i cinque e i sei mesi di vita, a seconda della razza e dell'area geografica in cui si trova l'allevamento.

I risultati riferiti alle singole regioni divise per area geografica (nord, centro e sud Italia) sono di seguito riportati e risultano strettamente correlati

alla tipologia e alla consistenza delle razze bovine presenti mediamente nel territorio considerato per il periodo di tempo monitorato (2019-2022).

In Tabella 2 i dati relativi alle regioni dell'Italia settentrionale mostrano chiaramente come la produzione di CH₄, espressa in grammi di gas per kg di c.v., presenta un andamento simile per tutte le regioni con emissioni maggiori registrate per le due classi di età 6-12 mesi. Andando invece a considerare le emissioni regionali riferite al capo di bestiame e aggregate per tutte le classi di età si osserva un aumento proporzionale all'età, con i bovini di sesso maschile che, a causa della loro stazza, emettono quotidianamente una maggiore quantità di gas serra rispetto ai corrispettivi femminili (mediamente +40%).

REGIONE	CLASSE	$E_t \text{ CH}_4$ (g kg c.v. ⁻¹ giorno ⁻¹)	Peso medio (kg)	$F_t \text{ CH}_4$ (g giorno ⁻¹ capo ⁻¹)	$F_t \text{ CH}_4$ (kg anno ⁻¹ capo ⁻¹)
PIEMONTE	Femmine 6-12	0,4855	285,01	138,37	50,51
	Maschi 6-12	0,5277	383,66	202,45	73,89
	Femmine 12-24	0,3030	493,44	149,49	54,56
	Maschi 12-24	0,2963	718,60	212,92	77,72
	Femmine > 24	0,3721	692,99	257,86	94,12
	Maschi > 24	0,2716	1.039,30	282,24	103,02
VALLE D'AOSTA	Femmine 6-12	0,5858	243,51	142,64	52,06
	Maschi 6-12	0,5877	266,20	156,44	57,10
	Femmine 12-24	0,4034	378,80	152,79	55,77
	Maschi 12-24	0,3194	469,17	149,86	54,70
	Femmine > 24	0,3739	539,31	201,64	73,60
	Maschi > 24	0,3378	693,30	234,22	85,49

LIGURIA	Femmine 6-12	0,4853	275,29	133,59	48,76
	Maschi 6-12	0,5342	367,80	196,49	71,72
	Femmine 12-24	0,3059	484,63	148,24	54,11
	Maschi 12-24	0,2970	695,89	206,67	75,43
	Femmine > 24	0,3979	682,59	271,57	99,12
	Maschi >24	0,2791	996,08	278,05	101,49
ALTO ADIGE	Femmine 6-12	0,5315	234,27	124,51	45,45
	Maschi 6-12	0,5289	299,99	158,68	57,92
	Femmine 12-24	0,3567	360,22	128,48	46,89
	Maschi 12-24	0,3070	524,96	161,16	58,82
	Femmine > 24	0,3791	515,69	195,49	71,36
	Maschi > 24	0,2804	788,65	221,17	80,73
TRENTINO	Femmine 6-12	0,5024	250,57	125,89	45,95
	Maschi 6-12	0,5196	330,50	171,73	62,68
	Femmine 12-24	0,3396	391,19	132,86	48,49
	Maschi 12-24	0,3060	598,02	183,01	66,80
	Femmine > 24	0,3758	530,55	199,39	72,78
	Maschi > 24	0,2743	834,24	228,87	83,54
LOMBARDIA	Femmine 6-12	0,4992	260,84	130,20	47,52
	Maschi 6-12	0,5097	355,11	181,02	66,07
	Femmine 12-24	0,3308	417,34	138,06	50,39
	Maschi 12-24	0,3027	650,98	197,08	71,94
	Femmine > 24	0,3328	578,98	192,69	70,33
	Maschi > 24	0,2590	954,39	247,16	90,21
VENETO	Femmine 6-12	0,4638	263,83	122,36	44,66
	Maschi 6-12	0,5104	362,76	185,17	67,59
	Femmine 12-24	0,2988	446,39	133,39	48,69
	Maschi 12-24	0,3000	682,34	204,73	74,73
	Femmine > 24	0,3448	574,93	198,22	72,35
	Maschi > 24	0,2604	929,47	242,06	88,35

FRIULI VENEZIA GIULIA	Femmine 6-12	0,4879	250,81	122,37	44,66
	Maschi 6-12	0,5115	326,55	167,03	60,97
	Femmine 12-24	0,3226	400,73	129,28	47,19
	Maschi 12-24	0,3024	556,25	168,24	61,41
	Femmine > 24	0,3495	548,93	191,85	70,02
	Maschi > 24	0,2644	834,68	220,69	80,55
EMILIA ROMAGNA	Femmine 6-12	0,4945	256,74	126,97	46,34
	Maschi 6-12	0,5080	346,94	176,24	64,33
	Femmine 12-24	0,3287	411,67	135,32	49,39
	Maschi 12-24	0,3030	634,08	192,15	70,14
	Femmine > 24	0,3386	577,28	195,48	71,35
	Maschi > 24	0,2576	942,51	242,84	88,64

Tabella 2 – Emissioni enteriche di CH₄ riferite alle regioni dell'Italia settentrionale
E_t = Emissioni totali di CH₄ enterico; c.v. = carne viva

In figura 1 il dato aggregato riferita alle emissioni giornaliere a capo per singola classe considerata, pur evidenziando un andamento comune, mostra sostanziali differenze tra le regioni. I dati indicano nel Piemonte la regione in cui sono registrati le maggiori emissioni in cinque delle sei classe analizzate. Fanno eccezione i bovini di sesso femminile di età superiore ai due anni che registrano il maggiore quantitativo di CH₄ giornaliero in Liguria (271,57 g giorno⁻¹ capo⁻¹).

Le emissioni più elevate in Piemonte e Liguria è una diretta conseguenza della prevalenza della razza Piemontese, che presenta una stazza consistente e può essere considerata la più impattante delle razze allevate in Italia. Inoltre, è necessario considerare le percentuali considerevoli di uscite al pascolo nel periodo analizzato che sono state registrate in queste regioni (rispettivamente 21,0 e 29,3% dei bovini allevati), che determinano un incremento significativo delle emissioni di gas serra.

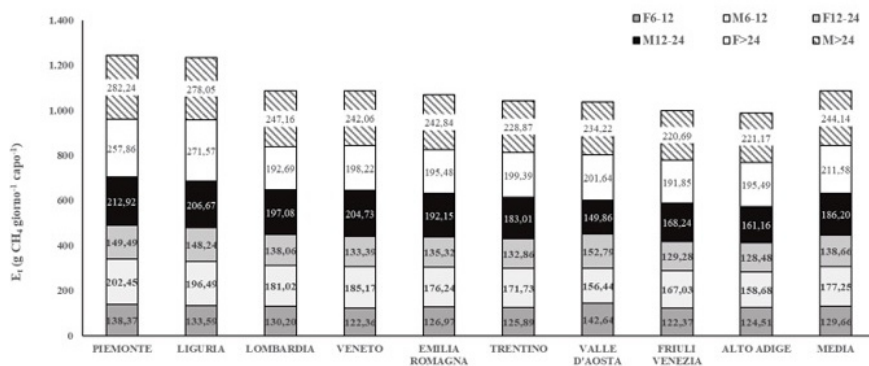


Figura 1 – Emissioni totali (E_e) giornaliere di CH_4 enterico per classi di età nelle regioni dell'Italia settentrionale

Al contrario, la predominanza di razze a duplice attitudine o da latte in Alto Adige e Valle d'Aosta porta a emissioni inferiori, probabilmente a causa delle differenze di stazza, tasso di crescita ed alimentazione. I valori medi delle emissioni giornaliere per le regioni dell'Italia settentrionale vanno da 129,66 g CH_4 giorno⁻¹ capo⁻¹, per i vitellini (6-12 mesi) di sesso femminile, a 244,14 g CH_4 giorno⁻¹ capo⁻¹, per i tori si sesso maschile. Questi dati espressi come quantità di CO_2 (GWP₁₀₀ = 32) equivalente annua, restituiscono un intervallo di emissioni pari a 1,51-2,85 Mg di CO_2 per capo di bovino, con un valore medio pari a 2.12 di CO_2 equivalente. Osservando l'andamento registrato in funzione dell'età, le emissioni enteriche giornaliere aumentano da 153,46 g giorno⁻¹ (vitellini) a 227,86 g capo⁻¹ (vacche e tori), con un deciso incremento (+49%), strettamente correlato all'età dei bovini, che aumentano di stazza e modificano la propria alimentazione, riducendo significativamente l'apporto di foraggi e aumentando la quantità di concentrati ingerita. Ciò risulta particolarmente evidente per i bovini destinati alla produzione di carne, soprattutto nella fase di fissaggio che precede la macellazione.

Analogamente sono state stimate le emissioni di CH_4 enterico dei bovini allevati nelle regioni dell'Italia centrale e i risultati sono riportati in Tabella 3.

REGIONE	CLASSE	$E_t \text{ CH}_4$ (g kg c.v. ⁻¹ giorno ⁻¹)	Peso medio (kg)	$E_t \text{ CH}_4$ (g giorno ⁻¹ capo ⁻¹)	$E_t \text{ CH}_4$ (Kg anno ⁻¹ capo ⁻¹)
TOSCANA	Femmine 6-12	0,4664	272,39	127,05	46,37
	Maschi 6-12	0,5064	356,77	180,67	65,95
	Femmine 12-24	0,3015	449,43	135,52	49,47
	Maschi 12-24	0,2958	682,19	201,82	73,66
	Femmine > 24	0,3979	644,81	256,56	93,65
	Maschi > 24	0,2508	1.051,72	263,73	96,26
UMBRIA	Femmine 6-12	0,4670	285,74	133,45	48,71
	Maschi 6-12	0,5022	360,74	181,16	66,12
	Femmine 12-24	0,3038	458,72	139,38	50,87
	Maschi 12-24	0,2995	663,80	198,81	72,57
	Femmine > 24	0,3853	664,47	256,01	93,44
	MASCHI > 24	0,2449	1.071,66	262,44	95,79
MARCHE	Femmine 6-12	0,4266	301,73	128,71	46,98
	Maschi 6-12	0,4803	405,44	194,72	71,07
	Femmine 12-24	0,2817	487,31	137,26	50,10
	Maschi 12-24	0,2890	717,04	207,21	75,63
	Femmine > 24	0,3711	701,40	260,32	95,02
	Maschi >24	0,2528	1.050,47	265,61	96,95
LAZIO	Femmine 6-12	0,4786	270,91	129,65	47,32
	Maschi 6-12	0,5018	368,78	185,05	67,54
	Femmine 12-24	0,3188	426,20	135,85	49,59
	Maschi 12-24	0,2992	668,24	199,97	72,99
	Femmine > 24	0,3795	613,02	232,63	84,91
	Maschi > 24	0,2546	1.017,66	259,14	94,59

Tabella 3 – Emissioni enteriche di CH₄ riferite alle regioni dell'Italia centraleE_t = Emissioni totali di CH₄ enterico; c.v. = carne viva.

In generale, le caratteristiche principali dei bovini allevati nell'Italia centrale sono una stazza media maggiore (587,26 contro 521,68 kg) e una maggiore diffusione delle razze destinate alla macellazione. In queste regioni, le razze Marchigiana e Chianina risultano le più numerose influenzando considerevolmente le quantità di CH₄ emesse giornalmente per tutte le classi di età (Figura 2).

Le medie delle emissioni di CH₄ derivanti dalla fermentazione enterica del bestiame nell'Italia centrale variano da 129,72 (vitellini) a 262,73 (tori) grammi per capo al giorno, che, in termini di CO₂ equivalente annuale, si traduce in valori compresi tra 1,52 e 3,07 tonnellate per capo.

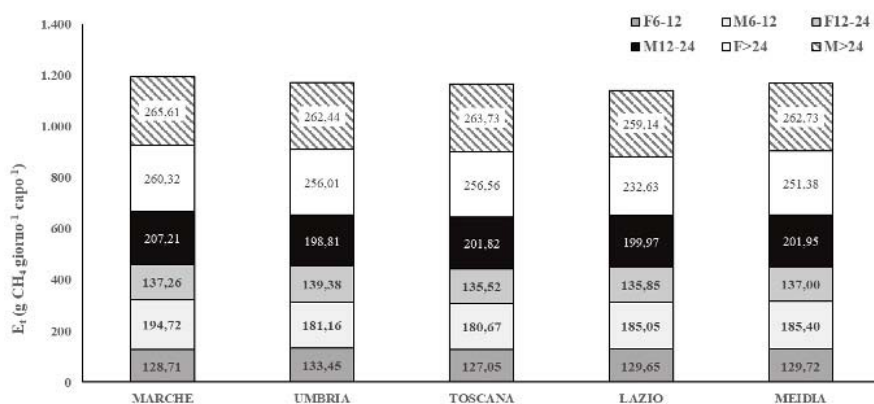


Figura 2 – Emissioni totale (E_t) giornaliere di CH₄ enterico nelle regioni dell'Italia centrale

In quest'area geografica, i bovini che emettono la maggior quantità di CH₄ giornaliero sono allevati nelle Marche e in Umbria, regioni in cui risultano particolarmente diffuse razze fortemente impattanti quali la Chianina (37,6% della popolazione totale in Umbria) e la Marchigiana (47,2% nelle Marche). Mediamente nelle regioni dell'Italia centrale nel periodo 2019-2022 è stata stimata annualmente la produzione di 2,27 Mg di CO₂ equivalente per capo, con un incremento del 7,1% rispetto alle regioni dell'Italia settentrionale.

Infine, le emissioni di CH₄ enterico sono state stimate anche per le regioni dell'Italia meridionale e insulare e i risultati sono riportati in Tabella 4.

REGIONE	CLASSE	$E_t \text{CH}_4$ (g kg c.v. ⁻¹ giorno ⁻¹)	Peso _m (kg)	$E_t \text{CH}_4$ (g giorno ⁻¹ capo ⁻¹)	$E_t \text{CH}_4$ (kg anno ⁻¹ capo ⁻¹)
ABRUZZO	Femmine 6-12	0,4558	282,58	128,81	47,02
	Maschi 6-12	0,4928	372,65	183,66	67,03
	Femmine 12-24	0,4932	372,45	183,70	67,05
	Maschi 12-24	0,2953	666,62	196,84	71,85
	Femmine > 24	0,3640	639,93	232,96	85,03
	Maschi > 24	0,2561	985,58	252,37	92,11
MOLISE	Femmine 6-12	0,4567	279,44	127,63	46,59
	Maschi 6-12	0,4921	372,68	183,41	66,94
	Femmine 12-24	0,3097	442,73	137,09	50,04
	Maschi 12-24	0,2976	664,68	197,80	72,20
	Femmine > 24	0,3609	641,46	231,48	84,49
	Maschi > 24	0,2591	990,02	256,54	93,64
CAMPANIA	Femmine 6-12	0,4453	282,00	125,58	45,84
	Maschi 6-12	0,4883	375,94	183,57	67,00
	Femmine 12-24	0,3011	442,35	133,20	48,62
	Maschi 12-24	0,2949	663,67	195,73	71,44
	Femmine > 24	0,3738	499,25	186,62	68,12
	Maschi >24	0,2583	951,10	245,63	89,66
PUGLIA	Femmine 6-12	0,4843	253,23	122,64	44,76
	Maschi 6-12	0,5108	337,20	172,25	62,87
	Femmine 12-24	0,3269	402,62	131,60	48,03
	Maschi 12-24	0,3041	619,19	188,28	68,72
	Femmine > 24	0,3750	581,19	217,97	79,56
	Maschi >24	0,2611	934,13	243,92	89,03

BASILICATA	Femmine 6-12	0,4756	249,19	118,53	43,26
	Maschi 6-12	0,5155	331,88	171,09	62,45
	Femmine 12-24	0,3229	381,06	123,04	44,91
	Maschi 12-24	0,3174	624,27	198,12	72,31
	Femmine > 24	0,4189	545,37	228,47	83,39
	Maschi > 24	0,2633	887,58	233,73	85,31

Tabella 4 – Emissioni enteriche di CH₄ riferite alle regioni dell'Italia meridionale e insulare

E_t = Emissioni totali di CH₄ enterico, c.v. = carne viva

In figura 3 il dato aggregato riferito alle emissioni giornaliere a capo per singola classe considerata mette in evidenza sostanziali differenze tra le regioni. I dati indicano nell'Abruzzo (123,81-252,37 g CH₄ giorno⁻¹ capo⁻¹) e nel Molise (127,63-256,54 g CH₄ giorno⁻¹ capo⁻¹) le regioni in cui sono registrati le maggiori emissioni in ciascuna delle sei classe analizzate, mentre la Sardegna (108,78-223,42 g CH₄ giorno⁻¹ capo⁻¹) è la regione in cui mediamente sono allevati i bovini che producono meno CH₄.

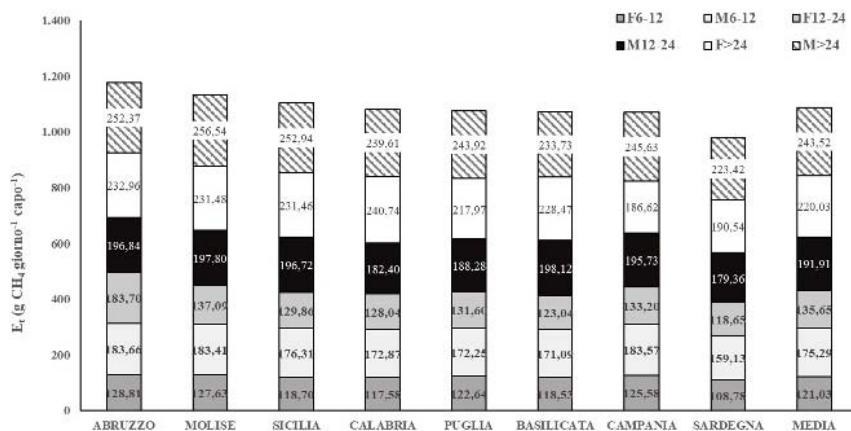


Figura 3 – Emissioni totali (E_t) giornaliere di CH₄ enterico per classi di età nelle regioni dell'Italia meridionale e insulare

Le medie delle emissioni di CH₄ derivanti dalla fermentazione enterica del bestiame nell'Italia centrale variano da 121,03 (vitellini) a 243,52

(tori) grammi per capo al giorno, che, in termini di CO₂ equivalente annuale, si traduce in valori compresi tra 1,41 e 3,84 Mg per capo, con un valore medio pari a 2,12 Mg CO₂ equivalente.

Un secondo parametro che deve essere preso in considerazione nell'analisi regionale dell'impatto ambientale degli allevamenti bovini è rappresentato dalla popolazione allevata in ciascuna area. La distribuzione dei bovini sul territorio nazionale appare estremamente disomogenea e principalmente concentrata (> 65%) in una specifica area dell'Italia settentrionale, comprendente Piemonte, Lombardia, Veneto ed Emilia-Romagna. In generale, le emissioni annuali di CH₄ per capo di bestiame derivante da fermentazione enterica dei bovini allevati nelle regioni dell'Italia settentrionale risultano pari a 211.470 Mg (66,1% delle emissioni totali nazionali), corrispondenti a 6.767 Gg di CO₂ equ. Le maggiori emissioni assolute nel quadriennio 2019-2022 sono state registrate in Lombardia con un valore medio pari 73.662 Mg all'anno, pari al 23,0% dell'emissioni totali annue stimate sull'intero territorio nazionale (Figura 4).

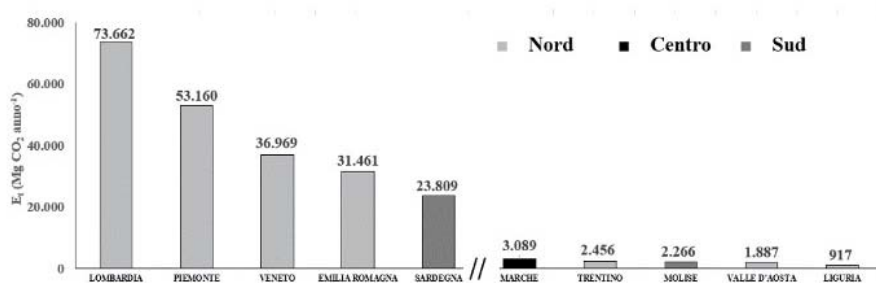


Figura 4 – Emissioni complessive annuali (E_t) di CH₄ enterico considerando la popolazione bovina in ciascuna regione italiana

Più ridotte sono le emissioni stimate per le regioni dell'Italia centrale e meridionale, in cui sono stati calcolati rispettivamente valori pari a 24.998 e 83.593 Mg anno⁻¹, pari all'7,8% e al 26,1% delle emissioni nazionali. In quest'area il contributo maggiore viene dai bovini allevati in Sardegna (7,4% delle emissioni nazionali), seguita dalla Sicilia (6,6%) e dal Lazio (4,0%). Dato l'esiguo numero di bovini allevati, Liguria (917 Mg anno⁻¹, 0,3%), Valle d'Aosta (1.887 Mg anno⁻¹, 0,6%) e Molise (2266 Mg anno⁻¹, 0,7%) rappresentano le regioni in cui sono prodotte annualmente le quantità meno rilevanti di CH₄ derivante da fermentazione enterica.

4 Conclusioni e prospettive future

Il lavoro condotto ha permesso di stimare la quantità di CH₄ enterico prodotta dai bovini presenti in Italia, utilizzando una metodologia che tiene conto di parametri obiettivi e specifici per ciascuna razza animale. A tale scopo, l'IPCC fornisce modelli efficaci che, considerando la popolazione bovina, il tasso di incremento giornaliero del peso e il peso di ciascun animale, nonché il tipo di allevamento (stallino, semi-stallino o pascolo) e la dieta fornita, permettono di calcolare le emissioni di metano espresse in grammi di metano per chilogrammo di carne viva al giorno. In particolare, le emissioni enteriche sono state calcolate per 37 razze bovine pure e 21 incroci con diverse attitudini (latte, carne e doppio uso), il cui numero risulta significativo (>1%) a livello nazionale e/o regionale. Per ciascuna razza sono state considerate sei categorie in base all'età (dai 6 mesi in poi) e al sesso dell'animale.

Il lavoro svolto rappresenta una fonte per sviluppare strategie mirate per mitigare le emissioni di gas serra in specifiche regioni e/o aree geografiche. Ad esempio, le regioni con emissioni più alte potrebbero beneficiare di iniziative mirate a ottimizzare le pratiche di allevamento del bestiame o a passare a razze con profili di emissioni inferiori. Al contrario, le regioni con emissioni inferiori possono fungere da modelli per pratiche sostenibili nell'allevamento del bestiame. È anche importante considerare le implicazioni più ampie per la politica agricola, come il supporto alla selezione e all'adozione di razze di bovini più ecocompatibili o l'incoraggiamento di pratiche che riducono la produzione di CH₄, come la scelta di un opportuno rapporto foraggio/mangime.

In generale, questa analisi fornisce un quadro chiaro di come i fattori regionali e la composizione delle razze di bovini possano influenzare le emissioni di gas serra, offrendo importanti spunti per gli sforzi di sostenibilità nel settore agricolo.

La quantificazione del CH₄ enterico pur rappresentando la principale fonte di gas serra legato all'allevamento di bovini, non è il solo fattore da prendere in considerazione. L'analisi di altri contributi, come la gestione del letame e la coltivazione dei foraggi necessari all'alimentazione degli animali, consentirà la creazione di dataset regionali completi in grado di stimare in modo efficace l'impatto ambientale del settore zootecnico.

In una prospettiva futura, i risultati ottenuti costituiscono una valutazione statistica che dovrà essere convalidata sul campo, attraverso misurazioni dirette che faranno uso di tecnologie strumentali innovative, come il monitoraggio degli allevamenti con droni dotati di sensori appositi per i gas serra. Dati provenienti dalla letteratura scientifica sostengono questa strategia, poiché le stime di metano enterico effettuate con la metodologia

descritta nell'IPCC (Livello 2) sono state successivamente confermate sul campo mediante misurazioni che hanno impiegato sia tecniche analitiche consolidate (FAO 2022; VanderZaag et al., 2014; Tedeschi et al., 2022; Sorg et al., 2018; Zhao et al., 2020), sia metodologie aeree innovative (Vinkovic et al., 2022). Queste ultime sono in grado di garantire un elevato numero di misurazioni su superfici estese e/o irregolari, riducendo al contempo i tempi di campionamento.

Ringraziamenti

Questo articolo fa parte dei risultati nell'ambito delle attività del Partenariato Esteso "Sostenibilità economico-finanziaria dei sistemi e dei territori" (Progetto GRINS Spoke 1, WP3) al fine del conseguimento della milestone "*Set-up of LCI national and regional datasets for the main Italian production systems that will be part of AMELIA*".

Bibliografia

- ASEM-HIABLIE, S., BATTAGLIESE, T., STACKHOUSE-LAWSON, K.R., ROTZ C.A. A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* (2019) 24:441-455.
- BALCOMBE, P., SPEIRS, J.F., BRANDON, N.P., HAWKES, A.D. (2018). Methane emissions: choosing the right climate metric and time horizon. *Environmental Science: Processes and impacts*, 20, 1323-1339.
- BDN 2022. Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica. (in Italiano) Online at: https://www.vetinfo.it/j6_statistiche/index.html#/report-pbi/11.
- BEAUCHEMIN, K.A., JANZEN, H.H., LITTLE, S.M., MCALLISTER, T.A., MCGINN, S.M. (2011). Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada - Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 663-677.
- BURATTI, C., FANTOZZI, F., BARBANERA, M., LASCARO, E., CHIORRI, M., CECCHINI L. (2017). Carbon footprint of conventional and organic beef production systems: An Italian case study. *Science of the Total Environment*, 576, 129-137.
- COSTANTINI, M., VÁZQUEZ-ROWE, I., MANZARDO, A., BACENETTI, J. (2021). Environmental impact assessment of beef cattle production in semi-intensive systems in Paraguay. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 269-281.
- DEL PRADO, A., LYNCH, J., LIU, S., RIDOUTT, B., PARDO, G., MITLOEHNER, F. (2023). Animal board invited review: Opportunities and challenges in using GWP* to report the impact of ruminant livestock on global temperature change. *Animal*, 17, 100790.
- FAO 2022. Methane Emissions in Livestock and Rice Systems – Sources, quantification, mitigation and metrics (Draft for public review). *Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership*. Rome: FAO.
- FROLDI, F., LAMASTRA, L., TREVISAN, M., MAMBRETTI, D., MOSCHINI M. (2022). Environmental impacts of cow's milk in Northern Italy: Effects of farming performance. *Journal of Cleaner Production*, 363, 132600.
- GERBER, P.J., STEINFELD, H., HENDERSON, B., MOTTET, A., OPIO, C., DIJKMAN, J., FALCUCCI, A., TEMPIO, G. (2013). Tackling climate change through livestock - a global assessment of emissions and mitigation opportunities. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, Rome, Italy. 115 p. Available at: <http://www.fao.org/docrep/018/i3437e/i3437e.pdf>.

- GLOBAL METHANE INITIATIVE, 2023. <https://www.globalmethane.org/>.
- GLOBAL METHANE PLEDGE, 2021. <https://www.globalmethanepledge.org/>.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2019a. Summary for policymakers. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. In: Shukla, P.R., Skea, J., Buendia, E.C., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., Diemen, R.V., Ferrat, M., Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Pereira, J.P., Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., Belkacemi M., Malley, J. editors. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland. p. 41-[accessed March 28, 2022]. Available at: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/>.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2019b. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 10: Emissions from livestock and manure management. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol.4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. IGES, Japan.
- ISPRA, 2022. Il metano nell'inventario nazionale delle emissioni di gas serra. L'Italia e il Global Methane Pledge. Rapporto 374/2022.
- NOTARNICOLA, B., TASSIELLI, G., RENZULLI, P.A., DI CAPUA, R., SAIJA, G., SALOMONE, R., PRIMERANO, P., PETTI, L., RAGGI, A., CASOLANI, N., STRANO, A., MISTRETTA, M. (2022). Life cycle inventory data for the Italian agri-food sector: background, sources and methodological aspects. *International Journal of Life Cycle Assessment*.
- O'BRIEN, D., HERRON J., ANDURAND J., CARÉ, S., MARTINEZ P., MIGLIORATI L., MORO M., PIRLO G., DOLLÉ J.-B. (2020). LIFE BEEF CARBON: a common framework for quantifying grass and corn based beef farms' carbon footprints. *Animal*, 14:4, 834-845.
- SORG, D., DIFFORD, G.F., MÜHLBACH, S., KUHLA, B., SWALVE, H.H., LASSEN, J., STRABELE, T., PSZCZOLA, M. (2018). Comparison of a laser methane detector with the GreenFeed and two breath analysers for on-farm measurements of methane emissions from dairy cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 285-294.
- TEDESCHI, L.O., ABDALLA, A.L., ÁLVAREZ C., ANUGA, S.W., ARANGO, J., BEAUCHEMIN, K.A., BECQUET, P., BERNDT, A., BURNS, R., DE CAMILLIS, C., CHARÁ, J., ECHAZARRETA, J.M., HASSOUNA, M., KENNY, D., MATHOT, M., MAURICIO, R.M., MCCLELLAND, S.C., NIU, M., ONYANGO, A.A., PARAJULI, R., RIBEIRO PEREIRA, L.G., DEL PRADO, A., PAZ TIERI, M., UWIZEYE, A., KEBREAB, E. (2022). Quantification of methane emitted by ruminants: a review of methods. *Journal of Animal Science*, 100, 1-22.

- VANDERZAAG, A.C., FLESCHE, T.K., DESJARDINS, R.L., BALDÉ, H., WRIGHT, T. (2014). Measuring methane emissions from two dairy farms: Seasonal and manure-management effects *Agriculture, Agricultural and Forest Meteorology*, 194, 259-267.
- VINKOVIĆ, K., ANDERSEN, T., DE VRIES, M., KERS, B., VAN HEUVEN, S., PETERS, W., HENSEN, A., VAN DEN BULK, P., CHENA H. (2022). Evaluating the use of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-based active AirCore system to quantify methane emissions from dairy cows. *Science of The Total Environment*, 831, 154898.
- VITALI, A., GROSSI, G., MARTINO, G., BERNABUCCI, U., NARDONE A., LACETERA N. (2018). Carbon footprint of organic beef meat from farm to fork: a case study of short supply chain *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, 5518-5524.
- WEISS, F., LEIP A. (2012). Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149, 124-134.
- ZHAO, Y., NAN, X., YANG, L., ZHENG, S., JIANG, L., XIONG, B. (2020). A Review of Enteric Methane Emission Measurement Techniques in Ruminants. *Animals*, 10, 1004-1018.
- ZUCALI, M., TAMBURINI, A., SANDRUCCI, A., BAVA L. (2017). Global warming and mitigation potential of milk and meat production in Lombardy (Italy). *Journal of Cleaner Production*, 153, 474-482.

Responsible communication strategies in the beer industry: an analysis of communication practices on major brewing companies' websites in Italy

Andrea Apicella
University of Pisa
Biasino Farace
University of Pisa
Angela Tarabella
University of Pisa

ABSTRACT

Beer stands as one of the most prevalent alcoholic beverages globally. Recent years have witnessed a surge in international alcohol consumption, accompanied by the proliferation of riskier consumption patterns, necessitating the promotion of initiatives to prevent problematic behavior. Acknowledging this context, major beer multinationals recognize the significance of social marketing and employ diverse strategies within the marketing mix to encourage responsible drinking, including digital marketing.

This study focuses on analyzing the communication practices employed by alcohol producers on their websites, with a specific focus on messages aimed at discouraging improper alcohol consumption. Specifically, the study aims to analyze the evolving landscape of the beer industry's responsible communication on alcohol producers' websites through a comparative analysis of two benchmark years, 2016 and 2023, in order to highlight possible changes and trends.

The analysis underscores the presence of eight pivotal variables guiding responsible communication strategies on these websites, shedding light on the evolving landscape of social marketing practices.

A notable constant is the enduring emphasis on age verification protocols (*"Skimming by age"*), ensuring compliance with regulatory standards and restricting access to alcohol-related content to appropriate age groups. Furthermore, subtle variations were observed in using slogans to empower responsible alcohol consumption. However, the most significant evolution was witnessed in the substantial rise in the inclusion of *"Nutritional Values"*. This analysis contributes to a deeper understanding of the social marketing practices adopted by major international brewing companies in their efforts to address alcohol-related harm.

KEYWORDS: beer sector, responsible communication, social marketing, websites, content analysis, alcohol consumption

1 Introduction

The overconsumption of alcohol is a major global concern recognized by the World Health Organization (WHO, 2018). The “*Global Status Report on alcohol and Health 2018*”, the last global analysis on alcohol consumption, shows that alcohol abuse accounts for around 3 million deaths yearly (WHO, 2018). Additionally, about 283 million people have been diagnosed with Alcohol Use Disorder (AUD), characterized by dangerous drinking habits and addiction. It’s worth noting that Europe has the highest rate of AUD, as it produces and consumes more alcohol per capita than any other region. As a result, Europe bears the brunt of alcohol-related harm (ISS, 2021; WHO, 2019).

In Italy, as the Istituto Superiore di Sanità reported in 2021, approximately 670.000 individuals (with 430.000 being men and 240.000 women) were identified as harmful consumers, facing organ damage and/or Alcohol Use Disorder (AUD) necessitating intervention. Alarmingly, less than 10% of these cases received the necessary assistance. In response to these challenges, major multinational alcohol companies have diligently worked towards more responsible communication strategies, employing innovative slogans and labels to underscore the dangers of reckless and improper alcohol consumption. The beer industry, in particular, has exhibited a growing commitment to ethical conduct in its interactions with consumers through Corporate Social Responsibility (CSR) initiatives (Mialon and McCambridge, 2018; Mueller Loose and Remaud, 2013). Although the current Italian regulatory framework does not mandate adopting these peculiar forms of communication, beer producers and trade associations have initiated various efforts to voluntarily incorporate messages and slogans on their labels, websites and TV commercials to promote responsible drinking (Smith et al., 2014). In recent years, scholars have assessed the effectiveness of these initiatives, specifically designed to deter consumption among the most vulnerable groups, such as minors, drivers, and pregnant women (Farace et al. 2020; Smith et al., 2006).

In line with the existing body of literature, this study aims to analyze communication practices employed by alcohol producers on their websites, emphasizing messages geared towards discouraging inappropriate alcohol consumption. Using a content analysis methodology, the authors performed a comparative checklist-based evaluation of the homepages of international brewery websites within the Italian context for the years 2016 and 2023. This approach was employed to discern patterns of evolution and detect notable changes in the strategies and content deployed on these platforms over time.

2 *Social Marketing in the alcohol industry: the contribution of the beer sector*

The growth in alcohol consumption reported internationally in recent years, coupled with the spread of riskier drinking patterns, is of increasing relevance in promoting initiatives to prevent misbehavior and related risks (WHO, 2019). Specifically, the improper consumption of alcohol, whether among young people or adults, is regarded as a significant risk factor that can contribute to the development of severe medical and social disorders associated with addiction (Degenhardt et al., 2013; ISS, 2021; Kuntsche and Gmel, 2013). One of the most significant issues confronting alcohol producers on the global stage, which has been a point of contention with the scientific community, is the social responsibility of companies involved in selling potentially harmful alcoholic products (WHO, 2015). As awareness of the impact of alcohol consumption has grown, many companies have embraced corporate practices within the framework of Corporate Social Responsibility (CSR), specifically focusing on mitigating alcohol-related harm (Mialon and McCambridge, 2018). Prominent breweries worldwide actively engage in efforts to raise consumer awareness and address alcohol abuse problems through self-regulation and social marketing strategies (Kotler et al., 2002). These initiatives aim to promote responsible drinking and prohibit access to underage individuals, drivers, and pregnant women, utilizing innovative slogans, websites, labels, and TV commercials (Smith et al., 2014).

Assessing the effectiveness of responsible communication methods in alcohol consumption is a subject of ongoing debate and still needs a definitive consensus. Some researchers contend that health warnings placed prominently on alcohol labels can serve as valuable tools for raising awareness and educating consumers about the potential risks associated with alcohol consumption, remarkably when reputable sources endorse these messages and are readily visible (Martin-Moreno et al., 2013). Conversely, a contrasting perspective is put forth by other scholars who argue that alcohol warning labels often fall short of achieving their intended goals (Smith et al., 2006). They assert that these labels tend to be indirect, vague, and inconspicuous and are primarily designed to bolster sales and enhance the public image of alcohol products (Coomber et al., 2015; MacKinnon et al., 2000). Nevertheless, it remains imperative to investigate further the underlying complexities associated with responsible communication strategies employed by alcohol companies. Such exploration is essential in educating consumers about the importance of adopting a conscientious and mindful approach to their lifestyle choices (WHO, 2021).

3 Methodology

This research aimed to identify the evolution of social marketing interventions designed to educate consumers about responsible alcohol consumption. Hence, the study aimed to underscore the evolving landscape within the beer industry concerning responsible communication on alcohol producers' websites. In this context, a comparative analysis was undertaken, examining the variables identified on these websites for the years 2016 and 2023, illuminating any discernible shifts and trends.

A content analysis was conducted to gain a deeper understanding of the adoption of responsible communication models on Italian websites—reflecting the companies' commitment to crafting messages and health/nutritional information to encourage more informed product usage. The checklist method was chosen for its simplicity in data collection, error reduction, and ease of analysis, making it the preferred approach for evaluating websites (Salavati and Hashim, 2015). Checklists serve as tools to assess a website's performance or gauge its content richness. This evaluation method relies on two fundamental prerequisites. First, a well-constructed checklist is essential to verify the presence of specific attributes on a website. Second, a group of individuals must perform the assessment, typically in a controlled laboratory setting. Depending on the nature of the study, those responsible for scrutinizing the website's features may include consumers, suppliers, professionals, researchers, or students (Law et al., 2010)

Using the list of companies and brands detailed in the Assobirra reports of 2016 and 2023, we implemented a systematic identification process, including:

I) The selection of companies meeting specific criteria. This involved excluding brands lacking reference websites or featuring websites not in the Italian language.

II) The identification of the variables linked to social marketing activities that were subjected to analysis.

Specifically, the variables that are consistently present in both reference years are as follows:

- 1) "*Skimming by age*": for this variable a check was carried out to verify the screening of access to the content of the website aimed at identifying the age of the person requesting access to it.
- 2) "*Presence of Ethics Code*": in this case, the presence of a link on the homepage of the relevant website that referred to the code of ethics of alcohol producers was assessed.
- 3) "*Drink or Drive*" campaigns: These campaigns represent a source of information on the risks related to driving vehicles under the

- influence of alcohol. Italian law identifies the maximum limit with a blood alcohol level of 0 for newly licensed drivers and 0.5 for those who have held the license for at least three years.
- 4) “*Let’s Talk about Alcohol*” campaigns: The “*Let’s Talk about Alcohol*” campaign aims to help people make responsible choices about alcohol and its consumption and to help them make informed choices. The link on the home page contains news and opinions on alcohol and encourages responsible drinking. Illustrates the harmful effects of irresponsible alcohol consumption on individuals and society.
 - 5) “*Drink Responsibly*” statement: in 2007 Assobirra launched the “*Guida la vita: Drink responsibly*” program by creating campaigns on the risks associated with the abuse and incorrect use of alcoholic beverages, with a focus on some specific risk situations such as alcohol and pregnancy, alcohol and driving, alcohol and young people. It has created awareness campaigns focused on an unmistakable message: anyone about to drive, anyone planning a pregnancy, or a minor must not drink alcohol.
 - 6) “*Drink Consciously*” statement: the presence of these kinds of messages is linked to health information related to the consumption of alcohol coming from institutional actors regarding the promotion and health of citizens.
 - 7) “*Consumer Information*”: health warnings on alcoholic beverage labels increase consumer awareness of the risks associated with consumption in generic form with relevant information.
 - 8) “*Nutritional Values*”: nutritional information on brewery websites and homepages is part of the initiative The Brewers of Europe seek to ensure from 2022, ingredients and energy information should figure on the label of all pre-pack beer containers provided to consumers in the EU, in conformity with the provisions of Regulation (EU) No 1169/2011 on the provision of food information to consumers.

4 Results

In 2016, as a result of the aforementioned selection process, we successfully identified 26 websites representing beer brands available in the Italian market. For a visual summary of the sample selection process and the baseline variables, please refer to Figure 1 (Please note that for the year 2022, we followed the same sample selection process. Subsequently, we will only present the pertinent data necessary for the analysis).

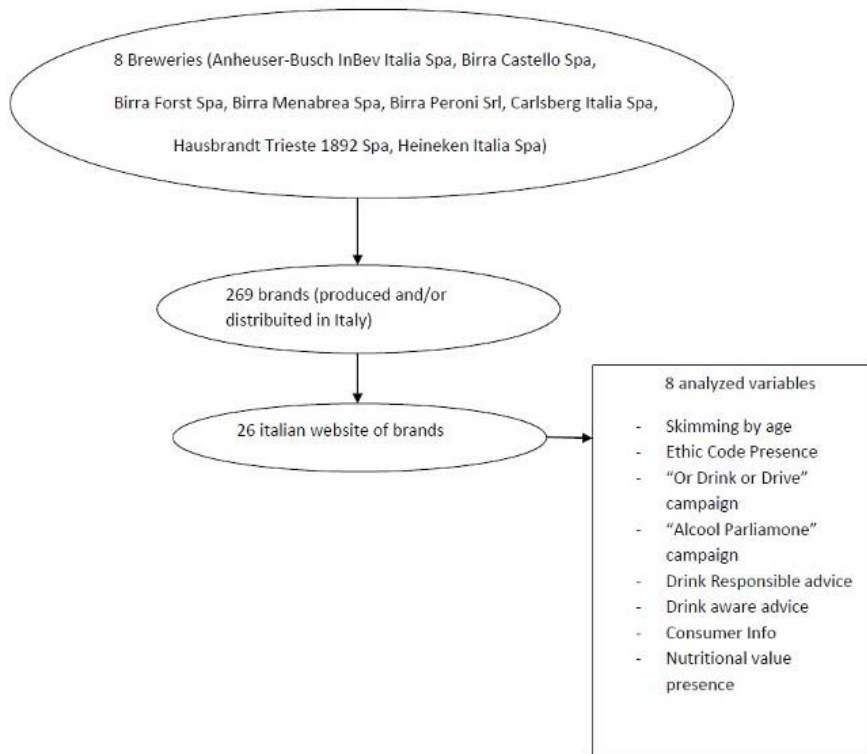


Fig. 1 – Sample selection process and extracted variables

Source: author elaboration

As regards the year 2015, seven large brewing companies with industrial production operated on the Italian market: Heineken Italy, Peroni, Carlsberg Italia, Birra Castello, Forst, Menabrea, Theresianer. They managed a total of 13 production plants, located in different regions of the peninsula. The artisanal production units, such as microbreweries and brewpubs, were added to these. Market leaders were the subsidiaries of the largest brewing multinationals in the world: Heineken, SabMiller, AB-Inbev and Carlsberg, which together controlled approximately 62% of the total market.

The analysis reveals a significant difference in the presence of different themes on the websites examined, with some themes being more prevalent than others. The diversity in thematic representation reflects varying degrees of emphasis placed by these companies on different aspects of responsible communication. Some themes have clearly emerged as more prominent and frequently featured, while others appear to be less pro-

nounced, suggesting varying priorities in how companies engage with their audience and convey their commitment to responsible practices.

Below are the results that emerged for the research carried out in the reference year 2016 on the websites.

The variable “*Skimming by age*” stands out as a universal feature (100%), indicating a consistent commitment among all the companies to tailor their information to the legal drinking age, making it a top priority. The phrase “*Drink responsibly*” is notably prevalent, appearing on approximately half of the websites (53.85%). This widespread use underscores the significance of responsible drinking as a prominent and relevant topic in online information. Notably, this slogan is also prominently featured in product labeling.

Conversely, the “*Ethics Code*” is relatively rare, found on a small fraction of the websites (15.38%), suggesting it is not a widely adopted feature in online communications.

Responsible campaigns like “*Drink or drive*” and “Let’s talk about alcohol” have a presence on a modest percentage of the websites (11.54%), indicating a comparatively lower prevalence compared to other communication variables.

Lastly, “*Drink Consciously*”, “*Consumer Information*”, and “*Nutritional Values*” are the least utilized variables, appearing on only a small subset of websites (3.85%). This suggests that companies in their online responsible communication efforts less commonly emphasize these aspects. Table 2 presents an overview of the checklist encompassing the variables identified on the respective brands’ websites. In Table 3, we provide the percentage distribution of each variable relative to the total number of websites analyzed.

Brand	Skimming by age	Ethics Code Presence	“Drink or drive” campaigns	“Let’s talk about alcohol” campaigns	“Drink Responsibly” statement	“Drink Consciously” statement	Consumer Information	Nutritional Value
Becks	✓				✓		✓	
Corona Extra	✓				✓			
Leffe	✓				✓			
Tennent’s	✓					✓		

Birra Castello	✓						
Birra Dolomiti	✓			✓			
Pedavena	✓			✓			
Forst	✓			✓			
Menabrea	✓	✓		✓			
Nastro Azzurro	✓		✓	✓			
Peroni	✓		✓	✓			
Raffo	✓		✓	✓			
Birrificio Angelo Poretti	✓			✓			
Carlsberg	✓			✓			
Grimbergen	✓						
Kronenbourg 1664	✓			✓			
Tuborg	✓						
Theresianer	✓						
Affligem	✓						
Birra Moretti	✓	✓		✓			
Chimay	✓						
Desperados	✓			✓			
Dreher	✓	✓					
Heineken	✓	✓		✓			✓
Ichnusa	✓			✓			
Paulaner	✓						

Table 2 – Checklist of variables in the brand website in 2016
 Source: author elaboration

Variables	Frequency	%
Skimming by age	26	100
Presence of Ethics Code	4	15.38
“Drink or drive” campaigns	3	11.54
“Let’s talk about alcohol” campaigns	3	11.54
“Drink responsible” statement	14	53.85
“Drink Consciously” statement	1	3.85
Consumer Information	1	3.85
Nutritional Value	1	3.85

Table 3 – Percentage distribution of each variable considered in 2016

Source: author elaboration

In 2022, the Italian beer market is allocated among various companies and imports as per Assobirra (2023).

- Heineken Italia Spa: 32.0%;
- Birra Peroni Srl: 17.0%;
- Anheuser-Busch InBev Italia Spa: 9.5%;
- Carlsberg Italia Spa: 5.8%;
- Birra Castello Spa: 5.2%;
- Birra Lucana Srl: 0.1%;
- Hausbrandt Trieste 1892 Spa: 0.1%;
- Others (companies not associated with Assobirra and microbreweries): 6.5%;
- Third-party imports not associated: 23.8%.

This breakdown provides an overview of the market share held by various players in the Italian beer industry. Table 4 presents the checklist results pertaining to website homepages in 2023. We identified a total of 563 brands produced and/or marketed in Italy. Out of these, 31 were included in the analysis as they provided a website in Italian, while the remaining 532 were excluded because their websites did not meet the criteria. Table 5 displays the percentage distribution of each variable relative to the total number of websites that underwent analysis.

Brand	Skimming by age	Ethics Code Presence	“Drink or drive” campaigns	“Let’s talk about alcohol” campaigns	“Drink Responsible” statement	“Drink Consciously” statement	Consumer Information	Nutritional Value
Becks	✓				✓			
Corona Extra	✓				✓			
Leffe	✓				✓			
Tennent’s	✓							✓
Birra Castello	✓	✓						
Birra Dolomiti	✓				✓			
Pedavena	✓							
Forst	✓				✓			
Menabrea	✓	✓			✓			
Nastro Azzurro	✓		✓	✓				
Peroni	✓	✓	✓	✓				
Raffo	✓		✓	✓				
Birrificio Angelo Poretti	✓							✓
Carlsberg	✓							✓
Grimbergen	✓							✓
Kronenbourg 1664	✓				✓			
Tuborg	✓				✓			✓
Theresianer	✓							
Affligem	✓							
Birra Moretti	✓	✓						
Chimay	✓							
Dreher	✓	✓	✓		✓	✓		✓

Heineken	✓				✓			✓
Ichnusa	✓	✓			✓	✓		✓
Paulaner	✓				✓			✓
Birra Messina	✓	✓		✓	✓	✓		✓
Von Wunster	✓	✓			✓			✓
Belgian Krier	✓							
Alpen	✓							✓
Stella Artois	✓				✓			
Zerocinquanta	✓							

Table – 4 Checklist of variables in the brand website in 2023
Source: author elaboration

Item	Frequency	%
Skimming by age	31	100
Ethics Code Presence	8	25.8
“Drink or drive” campaigns	4	12.9
“Let’s talk about alcohol” campaigns	4	12.9
“Drink responsible” statement	15	48.4
“Drink Consciously” statement	3	9.67
Consumer Information	0	0
Nutritional Value	12	38.7

Table 5 – Percentage distribution of each variable considered in 2023
Source: author elaboration

As evidenced by the checklist (Table 4) and the frequency table (Table 5), these findings shed light on the responsible communication landscape across the 31 websites under scrutiny. Here’s a succinct breakdown: “*Skimming by age*”: Without exception, all 31 websites prioritize age verification, a unanimous commitment to ensuring responsible access (100%). “*Ethics Code*”: Present on 8 of the 31 websites (25.8%), reflecting an ethical stance that a fraction of the brands embraced.

The “*Drink or Drive*” and “*Let’s Talk About Alcohol*” campaigns each feature on 4 of the 31 websites (12.9%), demonstrating engagement with critical societal issues.

“*Drink Responsibly*” campaigns: A prominent message on 15 of the 31 websites (48.4%), underscoring its widespread adoption as a responsible communication theme.

“*Drink Consciously*” campaigns: Less common, this message is observed on 3 of the 31 websites (9.67%), suggesting a nuanced approach to responsible consumption.

“*Consumer Information*”: Surprisingly, none of the websites provide dedicated sections for consumer information.

“*Nutritional Values*”: On 14 of the 31 websites (45.16%), there is an emphasis on transparency regarding product composition.

5 Discussion and Conclusions

The issue of risky drinking patterns has gained substantial attention within the scientific community and has become a central focus of international policy agendas to safeguard public health (WHO, 2010, 2015). In response to this, all stakeholders within the alcohol industry are being urged to implement specific measures to mitigate the abuse of their products, with a particular emphasis on vulnerable and high-risk groups such as minors, pregnant women, and drivers. The beer industry has exhibited a strong ethical responsibility in producing and marketing alcoholic products (Robinson and Kenyon, 2009).

Among the initiatives undertaken, advertising campaigns promoting responsible drinking have emerged as a focal point of multinational beer companies’ marketing endeavors. These efforts involve promoting responsible consumption of alcoholic products through slogans, labels, websites, and commercials. The ultimate aim is to encourage healthier lifestyles and deter the adverse consequences of irresponsible behavior.

Our study focused on analyzing communication strategies employed on corporate websites and uncovers a diverse spectrum of approaches.

By delving into shifts in the promotion of responsible messaging on websites, our study offers valuable insights into the evolution of responsible web communication within the beer industry. Certain messages have achieved wide dissemination within this landscape, while others may benefit from increased attention and enhanced visibility.

Upon reviewing the tables and the percentage distributions (Tabs. 2,3,4,5), we can discern notable shifts in the presence of variables on the

analyzed websites from 2016 to 2023: the variable “*Skimming by age*” remained a constant feature on all websites across both years. This consistent presence aligns with the established regulatory principles, specifically the code of the Advertising Self-Regulation Institute, which mandates that advertising related to alcoholic beverages should not target individuals under 18. The presence of the “*Code of Ethics*” on website homepages increased by 10.42% over this timeframe. This suggests a growing emphasis on ethical considerations within the alcohol industry’s online communication strategies. The presence of the “*Drink or Drive*” campaign increased by 1.36% from 2016 to 2023. This modest increase indicates a sustained focus on promoting responsible drinking behaviors related to driving. Similar to the “*Drink or Drive*” campaigns, the “*Let’s Talk About Alcohol*” campaigns also saw a slight increase of 1.36% in their website presence. This indicates a continued effort to initiate conversations around alcohol consumption and its effects. Interestingly, the presence of the statement “*Drink responsibly*” decreased by 5.45%. This decrease could suggest a shift in message focus or a change in emphasis in the industry’s responsible drinking campaigns. Indeed, the message remains very prominent in other forms of communication, such as commercials and labeling. Conversely, the presence of the “*Drink consciously*” wording increased by 5.82%. This change implies a growing emphasis on mindful drinking, encouraging consumers to be more aware of their alcohol consumption choices. The presence of “*Consumer information*” completely disappeared, dropping from 3.85% to 0%. This suggests a shift away from providing detailed consumer-oriented information on these websites. One of the most significant shifts occurred in the inclusion of “*Nutritional Values*”, which increased substantially by 34.85%. This indicates a notable trend where consumers are increasingly interested in the nutritional aspects of alcoholic beverages, leading to a significant rise in providing this information on the websites analyzed.

In conclusion, our analysis of the communication strategies employed by the beer industry on corporate websites reveals a rather dynamic landscape that reflects the evolution of social attitudes and institutional concerns related to irresponsible alcohol consumption. As the industry adapts to contextual changes, understanding these changes is critical to policymakers, health advocates, and the drive to collaboratively promote healthier consumption habits and improve public well-being. Naturally, several limitations can be highlighted, such as the low percentage of brands with active websites, in fact less than 10% of the brands detected on the Italian market have an active website, in addition to the growing diffusion of the use of the internet which already affected a large segment of the Italian population in 2016 but which appears to be extremely pervasive in the year 2023, risking impacting the effectiveness of responsible communica-

tion messages in relation to the aforementioned contextual changes to have a more effective promotion towards healthier consumption habits.

References

- ASSOBIRRA (2016). Annual Report/2016. Available at: https://www.assobirra.it/wp-content/uploads/2017/11/annual_report_2016.pdf.
- ASSOBIRRA (2022). Annual Report/2022. Available at: <https://www.assobirra.it/wp-content/uploads/2023/07/AnnualReport-2022.pdf>.
- COOMBER, K., MARTINO, F., BARBOUR, I.R., MAYSHAK, R., MILLER, P.G. (2015). “Do consumers ‘get the facts’? A survey of alcohol warning label recognition in Australia”, *BioMed Central Public Health*, 22(816), 1-9.
- DEGENHARDT, L., O’LOUGHLIN, C., SWIFT, W., ROMANIUK, H., CARLIN, J., COFFEY, C., HALL, W., PATTON, G. (2013). “The persistence of adolescent binge drinking into adulthood: findings from a 15-year prospective cohort study”, *British Medical Journal Open*, 3, 1-11.
- EUROPEAN UNION, REGULATION (EU) No 1169 (2011). Of the European Parliament, of the Council of 25 October 2011 on the Provision of Food Information to Consumers, Amending Regulations (EC) No 1924/2006, (EC) No 1925/2006 of the European Parliament, of the Council, 2011.
- FARACE, B., APICELLA, A., TARABELLA, A. (2020). “The sustainability in alcohol consumption: the ‘drink responsibly’ frontier”, *British Food Journal*, 122(5), 1593-1610.
- ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ (2021). “Epidemiologia e monitoraggio alcol correlato in Italia e nelle Regioni”, *Rapporti Istanza*, 21(7), 1-67.
- KOTLER P., ROBERTO N., LEE N. (2002). *Social Marketing - Improving the Quality of Life*. Thousand Oaks (California), Sage Publications, p. 5.
- KUNTSCHKE, E., GMEL, G. (2013). “Alcohol consumption in late adolescence and early adulthood – where is the problem?”, *Swiss Medical Weekly*, 143, 1-10.
- MACKINNON, D.P., NOHRE, L., PENTZ, M.A., STACY, A.W. (2000). “The alcohol warning, the adolescents: 5-years effects”, *American Journal of Public Health*, 90(10), 1589-1594.
- MARTIN-MORENO, J.M., HARRIS, M.E., BRENDA, J., MØLLER, L., ALFONSO-SANCHEZ, J.L., GORGOJO, L. (2013). “Enhanced labeling on alcoholic drinks: reviewing the evidence to guide alcohol policy”, *European Journal of Public Health*, 23, 1082-1087.
- MIALON, M., MCCAMBRIDGE, J. (2018). “Alcohol industry corporate social responsibility initiatives and harmful drinking: a systematic review”, *European Journal of Public Health*, 28(4), 664-673.

- MUELLER LOOSE, S., REMAUD, H. (2013). "Impact of corporate social responsibility claims on consumer food choice", *British Food Journal*, 115(1), 142-161.
- LAW, R., QI, S., BUHALIS D. (2010). "Progress in tourism management: A review of website evaluation in tourism research", *Tourism Management*, 31(3), 297-313.
- ROBINSON, S.J., KENYON, A.J. (2009). *Ethics in the Alcohol Industry*. Palgrave Macmillan, London.
- SALAVATI, S., HASHIM, N.H. (2015). "Website adoption and performance by Iranian hotels", *Tourism Management*, 46, 367-374.
- SMITH, K.C., CUKIER, S., JERNIGAN, D.H. (2014). "Defining strategies for promoting product through 'drink responsibly' messages in magazine ads for beer, spirits, alcopops", *Drug and Alcohol Dependence*, 142, 168-173.
- SMITH, S.W., ATKIN, C.K., ROZNOWSKI, J. (2006). "Are 'drink responsibly' alcohol campaigns strategically ambiguous?", *Health Communication*, 20(1), 1-11.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), (2019). Status report on alcohol consumption, harm, policy responses in 30 European countries 2019: data sources, methods. Available at: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2019-3544-43303-60695>.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), (2021). Global alcohol action plan 2022-2030 to strengthen implementation of the Global Strategy to Reduce the Harmful Use of Alcohol. Available at: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/alcohol/alcohol-action-plan/first-draft/global_alcohol_acion_plan_first-draft_july_2021.pdf.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), (2010). Global strategy to reduce harmful use of alcohol. Available at: http://www.who.int/substance_abuse/msbalcstragegy.pdf.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), (2015). Young people, alcohol: a resource book. Available at: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/208202/9789290616849_eng.pdf;jsessionid=5108AB69EE584CC73BD2958171D454711?sequence=1 (accessed 5 July 2022).
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), (2018). Global status report on alcohol, health 2018. Available at: https://www.who.int/substance_abuse/publications/global_alcohol_report/en/.

Consumer perception studies on cultured meat: a critical systematic review

Tommaso Vito
University of Foggia
Caterina Tricase
University of Foggia
Roberto Leonardo Rana
University of Foggia

ABSTRACT

Cultured meat (CM) production is considered a new technology to implement the demand for sustainable food and to resolve ethical controversies associated with conventional meat production. While several technological and commercial challenges still need to be overcome for widespread production, it is necessary to understand consumer perception and acceptance. To this end, several studies have been conducted using different methodologies and different sample populations. In this context, this work intends to carry out a systematic literature review on consumers' perception, acceptance and willingness to pay for CM products.

This review examined articles published between the years 2015-2023 present on the Scopus database, considering only contributions written in English and not book chapters and conference proceedings.

The results showed that consumers' motivation to taste CM is driven more by personal benefits than by environmental concerns and that the use of neutral terminology to describe CM increases positive consumer perception in all study groups. However, the various studies show heterogeneous results, probably due to the cultural, social and demographic differences of the populations considered. The analysis then highlighted that the main limitation of the studies on perception and willingness to purchase CM is linked to the lack of tasting by the subjects involved in the studies. Therefore, we believe it is necessary in order to improve the quality of the data, to include tasting, or at least viewing, CM products as part of the survey methodology.

KEYWORDS: in vitro meat; cultured meat; consumer perception; acceptance; willingness to pay; innovation.

1 Introduction

In today's world, characterized by constant population growth, the production of conventional meat, which is not sufficient to satisfy global

demand, faces a series of ethical problems (often cruel slaughter), health problems (zoonoses and food-borne diseases), as well as environmental issues linked to the massive release of greenhouse gases, excessive land use and water consumption.

Although alternatives exist, such as Plant-based meat, they do not offer the same quantity and quality of proteins and minerals as traditional meat. However, in recent years a new product obtained through the development of biotechnology and tissue bioengineering techniques is becoming established (Post, 2012; Kumar et al., 2021) which could support the replacement of traditional meat production. This innovative food, commonly called cultured meat (CM), is already available in some markets (Singapore, Israel and USA).

The first step in the cultured meat production process is to take animal muscle cells from a biopsy, multiply them, then arrange them to form a structure that has a consistency similar to that of conventional meat. Currently, the production of cultured beef from muscle stem cells allows for a small-scale product that offers advantages related to a better controlled diet and a low environmental impact. To date, there are around 32 start-ups around the world ready to commercialize cultured meat, with the promise of replacing, or implementing, conventional meat to reduce the exploitation of already limited resources, the production of pollutants and non-recoverable waste and allow the humanity a more sustainable future (Kumar et al., 2021).

This technology, however, requires additional and more specific techniques to develop a product with good flavour and good appearance. The focus of current research is the development of improved cell culture media and 3D bioprinting techniques. Further obstacles to the spread of cultured meat in world markets are unfavourable public perception and the lack of legal regulations, but despite its current high production costs it promises to be a product with great potential for the future of humanity.

In this context, the present work used a systematic literature review (SLR) to investigate how future consumers perceive, accept and to what extent they are willing to pay for cultured meat. The authors analyzed and evaluated the most significant articles published up to July 2023 using the PRISMA diagram and the Scopus indexed database. Ultimately, this research could offer useful information to scholars and policymakers to intervene to fill gaps and promote key factors for the commercialization of this product.

2 Methodology

The authors carried out a Systematic Literature Review (SLR), a useful methodology for analyzing the most significant studies on the per-

ception and willingness of future consumers to purchase and consume cultured meat (Snyder, 2019).

Due to the importance and validity in the field of academic research, the authors used Scopus, a database indexed by Elsevier, for a structured TITLE-ABS-KEY search. The authors have chosen only the Scopus database as it is easy to use, has an intuitive research system and the papers are selected on the basis of quality criteria and scientific rigor. The multidisciplinary aspect also allows you to expand the research even outside a specific discipline (Burnham, 2006; Baas et al., 2020). Furthermore, this study represents a first approach to understanding the motivations that push consumers to eat cultured meat. Therefore, further researches and consumer surveys will bring the authors to include other databases such as Web of Science, PubMed and etc.

For this research the authors chose the search terms “Cultured meat” AND “Perception” OR “Willingness to pay” as keywords. In order to “consider a minimum set of evidence-based items” (Page et al., 2021), this metadata was recorded in a PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) diagram. The documents were screened thoroughly to determine whether or not they were suitable for SLR. This selection was made considering the articles published from January 2015 to July 2023 (research conducted on 12 July 2023, thus covering only the first six months of the year 2023); furthermore, the authors only considered publications written in English, only in the article or review typologies, excluding conference proceedings or book chapters.

3 Results

The Scopus search resulted in 60 contributions for “Cultured meat” AND “Perception” and 12 contributions for “Cultured meat” AND “Willingness to pay”. Figure 1 illustrates the PRISMA model and its phases, highlighting duplicate articles (3 articles taken into consideration only once) or not relevant to the topics considered, as well as the quantity of articles that correspond to each term (Page et al., 2021).

Based on the previously established criteria, a total of 36 articles were selected in this study (Figure 1).

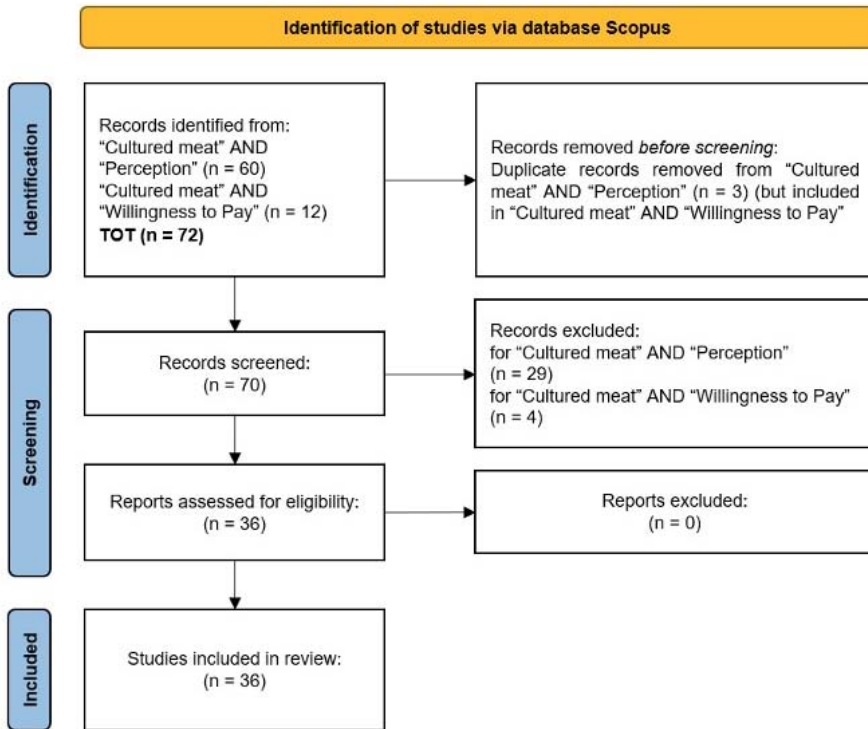


Figure 1 – PRISMA outline summary of research for SLR purposes (Page et al., 2021)

The largest number of selected articles was written in 2022 (13 articles), followed by 2020 (9 articles) and 2021 (4 articles). Since 2023 has not yet ended, the number of articles recorded is 3 articles. The search history is shown in Figure 2.

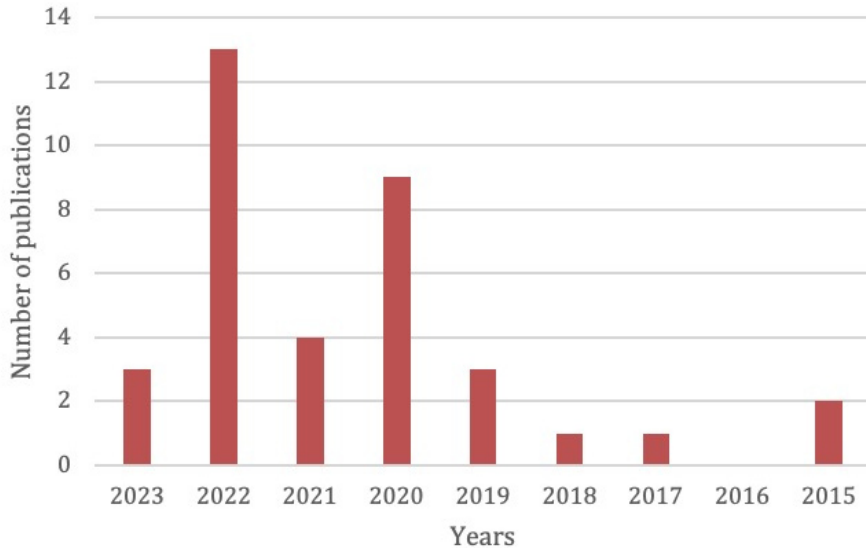


Figure 2 – Timeline of research included in the study (own source)

4 Discussion

Many studies have been carried out in recent years in order to evaluate and analyze the perception and acceptance of cultured meat as a novel food. In order to simplify the analysis of the SLR, the works were divided into two groups, the “Factors that influence the perception of the CM” and the “Factors that influence the willingness to pay of the CM”. Subsequently, within each individual category, subcategories were identified which include the aspects that influence the perception or willingness to purchase cultured meat in a different way. The authors underline that in the analysis of some articles, however, the characterization was not always so evident because some concepts were interconnected between different subcategories. Therefore, these articles have been considered several times in different aspects.

4.1 Factors influencing the perception of CM

The perception of cultured meat is very important for its acceptance and future commercialization. Various factors influence consumer choices, and they can be both instinctive and generated by a cognitive process. Based on the works observed, the following subcategories were identified.

4.1.1 Product safety

One of the aspects that should encourage the positive perception of cultured meat (CM) is the safety of the product understood as good quality, reduction of risk for human health and absence of zoonoses.

From the studies conducted by Siegrist et al. (2018) and Bryant and Barnett (2020), it can be seen that future research on consumer perception should focus more on these aspects, in addition to the sustainability of cultured meat and reduction of its artificiality.

Through a study on a sample of European consumers (specifically France and Germany), Bryant et al. (2020) discovered that messages focused on personal well-being, therefore regarding antibiotic resistance and the healthiness of the product, are significantly more persuasive than to general messages regarding the protection of animals and the environment.

On the contrary, the greater quality brought by new production technologies can represent an obstacle to consumer acceptance (Liu et al., 2022). In fact, there may also be mistrust regarding the real healthiness and absence of risk to the consumer's health. In fact, considering the new production technologies and the raw materials used, consumers may be wary of this new food so much so as to consider it a greater risk than, for example, conventional meat or plant-based products (Siegrist and Sütterlin, 2017; Liu et al., 2022).

The same conclusions are reported by Wilks et al. (2019), who hypothesize a “conspiracy idea” on the part of the consumer, which shows an extreme prejudice towards new CM production technologies and towards the use of biotechnology.

4.1.2 Ethical-environmental impact

As with food quality, if consumers are provided with negative information on the environmental impact of conventional meat production and, at the same time, positive information on cultured meat, their perception can be directed towards greater acceptance, driven by the reduction of environmental impact over time (Tomiyama et al., 2020). Indeed, providing information on various aspects of cultured meat is an important way to encourage consumers to create their own opinion and possibly reason and change their perception regarding cultured meat (Zhang et al., 2020).

Some works have evaluated the ethical aspects, as the production process of conventional meat involves animal exploitation until its death. Cultured meat could therefore have a high ethical value as its production process does not involve livestock farm and subsequent slaughter of the animal (Laestadius, 2015).

4.1.3 Artificiality of cultured meat

Another perception factor to take into consideration, according to

some authors, is the artificiality of cultured meat production. In fact, this new food is obtained with laboratory technologies and therefore considered unnatural.

Siegrist et al. (2018), for example, state that the perception of artificiality of cultured meat not only has a direct effect on its acceptance, but also has an indirect effect caused by the possible feeling of disgust evoked by this product.

Furthermore, the perception of cultured meat as a non-natural food leads the consumer to associate it with something artificial and therefore riskier for their health (Arango et al., 2023).

This negative perception could be addressed through communications and marketing by portraying cultured meat in a more natural and favourable light. For example, proposing sales strategies that promote deeper knowledge of the product, enhancing the resulting advantages, would reduce consumers' concerns about the unnaturalness of CM (Dupont et al., 2022). In this way, the negative perception of cultured meat would be changed, leading to a positive attitude towards this food (Siddiqui et al., 2022).

Wilks et al. (2021) state that the perception of the unnaturalness of cultured meat arises from an instinctive rather than cognitive process. Subsequently, however, a cognitive component intervenes, transforming the instinctive sensation into analytical thought, according to which cultured meat is unnatural. However, the authors do not exclude that, although cultured meat is considered unnatural by the consumer, it cannot be accepted and therefore consumed.

4.1.4 Curiosity

Very often the acceptance of cultured meat arises from the desire to taste a new product. According to Gousset et al. (2022) cultured meat aroused curiosity among the respondents of their study, so much so that 80% of them wanted to try it. Specifically, however, cultured meat could only implement the global meat market and therefore not completely replace conventional meat. Curiosity could be the first factor that brings the consumer closer to CM and subsequently others (food quality, ethical-environmental aspects, etc.) that incentivize and reinforce its regular use (Piochi et al., 2022). In contrast, Hocquette et al. (2022) argue that cultured meat is not a reasonable solution for the future as respondents in their study initially demonstrate curiosity, but later show emotional resistance manifesting as disgust or perception of unnaturalness/absurdity, which does not allow subsequent consumption of the meat grown over time.

According to Palmieri et al (2021), however, the majority of the sample of interviewees (78.2%) is inclined to try cultured meat, but more

than half (59%) is not driven specifically by curiosity but mainly by the idea of contributing to reduce hunger in the world.

A similar result, albeit with a lower percentage, was found in a study carried out in Croatia. Curiosity about cultured meat drives 40.9% of interviewees to be willing to consume it (Faletar and Cerjak, 2022).

4.1.5 Disgust

According to Wilks et al. (2019), disgust is one of the factors that most affects the acceptance of cultured meat. They correlate it to the perception of unnaturalness of the CM. In other words, the consumer who perceives cultured meat as unnatural will be more likely to be repelled by it.

However, a different result was obtained from a study by Siegrist and Hartmann (2020) in which the perception of cultured meat was analyzed in correlation with disgust. In this study, ten countries were analyzed, and each of these countries had distinct attitudes on the perception of artificiality and disgust of cultured meat. For example, significantly more expression of disgust regarding acceptance was observed in England than in China, Germany, Mexico and Sweden. Despite this, a relatively high level of acceptance of cultured meat has been observed in England, as well as in Mexico and South Africa. French consumers, on the other hand, were the ones who most perceived cultured meat as more unnatural and more disgusting.

Even in a sample of respondents from Croatia, Greece and Spain, only 21% of them identified cultured meat as disgusting, while 16% even perceived it as tasty (Franceković et al., 2021). Similar values were also obtained by Palmieri et al. (2021) on a sample of Italian consumers. A portion of the respondents in the latter study (23%) were influenced by the feeling of disgust when evaluating cultured meat. However, factors related to the consumer's personality characteristics significantly influenced the level of disgust evoked by the idea of cultured meat in the total sample of the various countries (Wilks et al., 2019).

A different result was observed in a small and specific group of consumers, represented by Generation Z (people born between the end of the 1990s and the early 2000s) in Australia. In fact, research has shown that interviewees do not consider cultured meat acceptable since 72% of them are moved by disgust, influencing their individual attitude towards CM products (Bogueva and Marinova, 2020). This indicates that the new generations may not be ready for the advent and commercialization of this innovative food. It is also true, however, that this data is restricted to the Australian continent only and may not be indicative of the global perception of cultured meat by the new generations.

Also Pakseresht et al. (2022) state that consumers' reluctance towards this "technological" food is driven by the perception of cultured meat

as disgusting food, in agreement with Siegrist et al. (2018) and Siegrist and Hartmann (2020).

Although the study of the perception of cultured meat could be integrated with visual inputs, such as photos of burgers labelled as cultured meat, these products could be considered equally healthier but the feeling of disgust would still remain, if compared to conventional burgers (Vural et al., 2023).

Therefore, cultured meat should imitate conventional meat as closely as possible from the point of view of visual presentation and taste, if it is to avoid generating a feeling of disgust in the consumer (Siegrist and Hartmann, 2020).

4.1.6 Food neophobia

Food neophobia, as well as disgust, most influences the acceptance and degree of perception of cultured meat (Wilks et al., 2019; Siegrist and Hartmann, 2020).

Food neophobia is included among the factors related to consumer personality characteristics, as is sensitivity to food disgust, and can have a significant influence on the acceptance of cultured meat (Siegrist and Hartmann, 2020).

Dominance of instinctive responses, of a reactive and non-cognitive nature, was also found in a study by Hamlin et al. (2022), where these types of instinctive reactions were significantly more predominant in consumers. In fact, the results of this research show greater consumer acceptance of plant-based meat rather than cultured meat as they are driven by processes of “acceptance through familiarity”, as plant-based meat is already on the market and therefore more familiar.

Producers and advocates of cultured meat should therefore act in ways that reduce neophobia by building trust, facilitating understanding of the technology, and explaining how cultured meat could improve various aspects of life, both personal and global. It is thought that by addressing neophobia, over time, rejection of cultured meat may decrease (Bryant and Barnett, 2020).

Neophobia linked to food technology, being a process triggered by the subconscious, remains the strongest negative aspect regarding the perception and acceptance of cultured meat (Dupont et al., 2022).

4.1.7 Socio-demographic aspects

Social and demographic aspects could also be identified as predictive aspects towards the perception and acceptance of cultured meat. According to Wilks et al. (2019) the consumers who are most accepting of cultured meat are young, male, high income and politically conservative,

in addition to having no restrictions on meat consumption. In contrast, education was not considered a significant predictor.

According to Piochi et al. (2022), as the same, the future potential consumer of cultured meat should be young, with knowledge about cultured meat and modest consumer of traditional meat.

Even regular meat eaters who would prefer to reduce their consumption perceive cultured meat as a possible future food and would accept it. However, according to Siddiqui et al. (2022) it would be interesting to carry out an in-depth analysis of cultural variables in consumers to better understand their preferences towards CM.

As regards French consumers, a study carried out an evaluation of the perception of cultured meat on a sample made up mainly of young people, experts in the meat sector and scientists. Older men and workers in the meat industry are the most reluctant to accept cultured meat, unlike young people and women, who are more concerned about ethical and environmental issues (Hocquette et al., 2022).

According to Bryant et al. (2020), however, acceptance of cultured meat is significantly higher among workers in the agricultural and meat sectors, indicating a desire to find alternatives or to return to non-intensive farming and therefore more conducive to animal welfare.

Studies on the influence of diet on the perception of cultured meat have identified vegans as neutral compared to other types of consumers, but less likely to consume cultured meat than the usual meat consumer (Verbeke et al., 2015; (Gousset et al., 2022).

Contrary to previous studies, in the work of Rolland et al. (2020), the acceptance of cultured meat does not depend on the gender or socio-economic status of the interviewees, probably because in the aforementioned study an actual tasting was carried out, on a hamburger labelled as cultured meat but actually made by conventional meat.

4.2 Factors influencing Willingness to Pay of CM

By analyzing willingness to pay with the same parameters as perception, we can divide the results of the studies carried out to date into as many categories. Furthermore, compared to the previous category, these subcategories group together a more limited number of publications.

4.2.1 *Product safety*

According to a study by Mancini and Antonioli (2020), positive information influences not only consumers' perception of the healthiness of the product but also on the nutritional characteristics of cultured meat, increasing the willingness to buy and also pay a premium price for this new product. On the other hand, trust in cultured meat is very important, as consumers may

not trust the information provided. For example, the positive information that consuming cultured meat does not entail additional risks (Siegrist et al., 2018) would paradoxically lead consumers not to trust it and therefore not be willing to buy cultured meat, much less pay an additional price for it.

A price that is too high, however, could hinder the large-scale consumption of this new product and therefore lower the level of willingness to pay on the part of the consumer (Zhang et al., 2020). Therefore, from these studies it is clear that the right relationship should be found between the perceived quality of the product and the convenient price to encourage the consumer to purchase it.

4.2.2 Ethical-environmental impact

As regards the correlation between environmental impact and willingness to pay, in the European countries taken into consideration by Asioli et al. (2022) there is generally a substantial potential group of consumers (30-50%) willing to pay a premium for cultivated beef but this consumer preference differs in terms of dimension when talking about positive preference regarding environmental impact (beyond the use of antibiotics and therefore related to food safety).

Also in another study, the willingness to pay a premium for cultured meat is mainly driven by the personal evaluation that cultured burgers can be a better-quality alternative to traditional ones, rather than being driven by information about the lower environmental impact of the CM products (Kantor and Kantor, 2021).

4.2.3 Artificiality of cultured meat

The perceived unnaturalness of cultured meat, combined with food curiosity and distrust of biotechnology are the most common factors influencing consumers' willingness to purchase and pay. The use of specific terminologies during the provision of information regarding this new product, as well as during marketing operations, influences the availability and willingness to purchase a certain product. Using phrases like "cultured meat is produced in a laboratory or through biotechnology" would encourage the perception of cultured meat in a negative way, emphasizing the unnatural aspect and promoting a thought of mistrust towards a biotechnological product seen as unnatural. This would lead to negatively influencing not only the perception but also the willingness and availability to purchase by future consumers (Hwang et al., 2020).

4.2.4 Curiosity

Food curiosity is another very important factor that has a positive impact on consumers regarding their willingness to try, buy and pay more.

According to Gousset et al. (2022), those who would be willing to try cultured meat would be driven by food curiosity. Furthermore, for 72% of them, the prices of the new product should be lower than or equal to those of conventional meat.

According to Rombach et al. (2022), however, in addition to curiosity, another important factor in encouraging willingness to pay is consumers' perception of cultured meat as a realistic alternative to conventional meat. In their study they state that, given the variability of different consumer groups, the sensory characteristics of cultured meat should be adapted to the needs, desires and different value systems of various consumers, in order to foster food curiosity and indirectly incentivize the willingness to purchase and pay a higher price.

4.2.5 Disgust

Willingness to pay is also influenced by the perception of disgust of cultured meat. A natural perception of cultured meat increases the willingness to pay for CM products. Clearly if this product is perceived as disgusting, the willingness to purchase or pay decreases (Mancini and Antonioli, 2019; Espinosa and Treich, 2023).

Goodness and disgust are the two most important predictors of willingness to pay according to Espinosa and Treich (2023), who in their study evaluated them for a hypothetical cultured meat product, finding that the tastier the product appears, the more participants are willing to pay for have it. This is also in agreement with the results of previous studies by Siegrist and Hartmann (2020) and Wilks et al. (2019).

4.2.6 Food neophobia

Food neophobia, as well as the sense of disgust, is one of the significant predictors for attitudes towards cultured meat. Indeed, consumers with lower levels of food neophobia are more likely and more willing to purchase and eat cultured meat products (Wilks et al., 2019).

The degree of correlation between neophobia and the intention to purchase cultured meat by individual consumers was also examined through a general food neophobia rating scale called Pliner/Hobden (Hamlin et al., 2022). In this case the scale did not give the desired significant results, probably because it was general in nature and based on cognitive factors and not produced by the subconscious, i.e., instinctive.

Food neophobia, however, combined with other factors such as concerns about food allergies or food technology, are components that inhibit the willingness to try, purchase, and pay a premium price for CM (Rombach et al., 2022).

Consumers with a lower degree of neophobia towards new food

technologies, often associated with young age, tend to be more accepting of cultured meat. This would lead cultured meat producers to target the new product at younger people and consumers with a low degree of neophobia because they are more likely to introduce CM-based products into their diet (Asioli et al., 2022).

As already underlined, in addition to disgust, food neophobia can also change the willingness to pay of the future cultured meat consumer (Espinosa and Treich, 2023).

However, some studies highlight that people who have a low degree of food neophobia are not always willing to purchase cultured meat (Gómez-Luciano et al., 2019). Other factors probably influence the choice of this product.

4.2.7 Socio-demographic aspects

As regards the socio-demographic aspects in relation to willingness to pay, the latter were discordant, indicating that it is perhaps not possible today to group different social groups based on availability or reluctance to purchase cultured meat.

According to Hocquette et al. (2022), those most in favour of purchasing cultured meat are young people, women and people who are not familiar with the concept of cultured meat, probably because they are more incentivized by the promising environmental aspects of this new product. However, despite being inclined to buy this product, 91.7% of them are not willing to pay a higher price than conventional meat.

Mancini and Antonioli (2019) asked a sample of Italian interviewees made up of young people with a high level of education, to quantify their willingness to pay for cultured meat: the result is that 23% of the interviewees would pay a premium ranging from 10% to 30% more than the price of conventional meat.

A narrower study (Eastern Cape, South Africa) observed that, after an explanation of the concept of cultured meat, more than half of respondents (53.1%) approved the production of cultured meat products and was willing to eat these products (Falowo et al., 2022). In light of this research, it can be stated that information on CM products encourages their willingness to pay.

The willingness to pay / to buy / to consume was also analyzed by trying to rank the satisfaction of alternative products to conventional meat (cultured meat, plant-based meat and insect-based products) on a sample of Dutch consumers divided into 3 groups: 1) “meat lovers”; 2) “moderate meat consumers”; 3) “vegetarians”. The results show that cultured meat was in second place, immediately after conventional meat, in the choices of the group called “meat lovers”. For “moderate meat consumers” however, the

desire to buy cultured meat came immediately after the choice of plant-based meat. There are no preferences expressed by the group of “vegetarians”. Cultured meat, therefore, seems to have potential for the Dutch population, as the willingness to pay was similar to other consolidated products already on the market, such as plant-based meat (Cornelissen and Pi-*queras-Fizman*, 2023).

5 Conclusions

The results obtained from this review of the various works published via Scopus database show that there is a high heterogeneity in the degree of perception and acceptance of cultured meat by the consumer. This may be mainly due to various personal factors linked to perceptions of artificiality, sense of disgust and food neophobia, but also by social and cultural aspects. The major differences, in fact, depend on culture, level of education or even more so on age. Consumers’ willingness to buy, pay (possibly a premium price) and taste cultured meat is driven more by personal benefits rather than environmental concerns. The level of information regarding cultured meat also plays a fundamental role in its perception and acceptance. The use of neutral terminologies, not focused on the technological and biotechnological level of the product, but focused on the improving aspects regarding health and environmental aspects, generally increases positive perception by the consumer. However, the various studies show heterogeneous results, probably due to the cultural, social and demographic differences of the populations considered. This lack of homogeneity in the results is certainly also due to the lack of homogeneity in the design and execution of the different studies. Based on what has been observed, consideration should be given to adapting marketing strategies for the promotion of cultured meat based on geographical, demographic and cultural aspects, in order to best influence consumer choice.

An important limitation in almost all the studies analyzed highlights that the analysis of perception and willingness to purchase cultured meat were carried out only on a theoretical level, without the possibility of actually testing the taste, flavour or appearance of the product. Therefore, the authors suggest that in the future the tasting, or at least the visual aspect, of cultured meat products should be included in the investigation methodology. This will allow you to obtain better quality information which will lead to more concrete and reliable results.

References

- ARANGO, L., CHAUDHURY, S.H., SEPTIANTO, F. (2023). The role of demand-based scarcity appeals in promoting cultured meat. *Psychology and Marketing*, 40(8), 1501-1520. <https://doi.org/10.1002/mar.21821>.
- ASIOLO, D., FUENTES-PILA, J., ALARCÓN, S., HAN, J., LIU, J., HOCQUETTE, J.F., NAYGA, R.M. (2022). Consumers' valuation of cultured beef Burger: A Multi-Country investigation using choice experiments. *Food Policy*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102376>.
- BAAS, J., SCHOTTEN, M., PLUME, A., CÔTÉ, G., KARIMI, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377-386. https://doi.org/10.1162/qss_a_00019.
- BOGUEVA, D., MARINOVA, D. (2020). Cultured Meat and Australia's Generation Z. *Frontiers in Nutrition*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00148>.
- BRYANT, C., BARNETT, J. (2020). Consumer acceptance of cultured meat: An updated review (2018-2020). In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 15). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10155201>.
- BRYANT, C., VAN NEK, L., ROLLAND, N.C.M. (2020). European markets for cultured meat: A comparison of germany and france. *Foods*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/foods9091152>
- BURNHAM, J.F. (2006). Scopus database: A review. In *Biomedical Digital Libraries* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1186/1742-5581-3-1>.
- CORNELISSEN, K., PIQUERAS-FISZMAN, B. (2023). Consumers' perception of cultured meat relative to other meat alternatives and meat itself: A segmentation study. *Journal of Food Science*, 88, 91-105. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16372>.
- DUPONT, J., HARMS, T., FIEBELKORN, F. (2022). Acceptance of Cultured Meat in Germany—Application of an Extended Theory of Planned Behaviour. *Foods*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/foods11030424>.
- ESPINOSA, R., TREICH, N. (2023). Eliciting Non-hypothetical Willingness-to-pay for Novel Products: An Application to Cultured Meat. *Environmental and Resource Economics*, 85(3-4), 673-706. <https://doi.org/10.1007/s10640-023-00780-8>.
- FALETAR, I., CERJAK, M. (2022). Perception of Cultured Meat as a Basis for Market Segmentation: Empirical Findings from Croatian Study. *Sustainability (Switzerland)*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/su14126956>.
- FALOWO, B.A., HOSU, Y.S., IDAMOKORÓ, E.M. (2022). Perspectives of Meat Eaters on the Consumption of Cultured Beef (in vitro Production) From the Eastern Cape of South Africa. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.924396>.

- FRANCEKOVIĆ, P., GARCÍA-TORRALBA, L., SAKOULOGEORGA, E., VUČKOVIĆ, T., PEREZ-CUETO, F.J.A. (2021). How do consumers perceive cultured meat in croatia, greece, and spain? *Nutrients*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/nu13041284>.
- GÓMEZ-LUCIANO, C.A., DE AGUIAR, L.K., VRIESEKOOP, F., URBANO, B. (2019). Consumers' willingness to purchase three alternatives to meat proteins in the United Kingdom, Spain, Brazil and the Dominican Republic. *Food Quality and Preference*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103732>.
- GOUSSET, C., GREGORIO, E., MARAIS, B., RUSALEN, A., CHRICKI, S., HOCQUETTE, J.F., ELLIES-OURY, M.P. (2022). Perception of cultured "meat" by French consumers according to their diet. *Livestock Science*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104909>.
- HAMLIN, R.P., MCNEILL, L.S., SIM, J. (2022). Food neophobia, food choice and the details of cultured meat acceptance. *Meat Science*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108964>.
- HOCQUETTE, É., LIU, J., ELLIES-OURY, M.P., CHRICKI, S., HOCQUETTE, J.F. (2022). Does the future of meat in France depend on cultured muscle cells? Answers from different consumer segments. *Meat Science*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108776>.
- HWANG, J., YOU, J., MOON, J., JEONG, J. (2020). Factors affecting consumers' alternative meats buying intentions: Plant-based meat alternative and cultured meat. *Sustainability (Switzerland)*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/su12145662>.
- KANTOR, B.N., KANTOR, J. (2021). Public Attitudes and Willingness to Pay for Cultured Meat: A Cross-Sectional Experimental Study. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.594650>.
- KUMAR, P., SHARMA, N., SHARMA, S., MEHTA, N., VERMA, A.K., CHEMMALAR, S., SAZILI, A.Q. (2021). In-vitro meat: A promising solution for sustainability of meat sector. In *Journal of Animal Science and Technology* (Vol. 63, Issue 4, pp. 693-724). Korean Society of Animal Sciences and Technology. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e85>.
- LAESTADIUS, L.I. (2015). Public Perceptions of the Ethics of In-vitro Meat: Determining an Appropriate Course of Action. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 28(5), 991-1009. <https://doi.org/10.1007/s10806-015-9573-8>.
- LIU, W., HAO, Z., FLORKOWSKI, W.J., WU, L., YANG, Z. (2022). Assuring Food Security: Consumers' Ethical Risk Perception of Meat Substitutes. *Agriculture 2022*, 12, 671. <https://doi.org/10.3390/agriculture>.

- MANCINI, M.C., ANTONIOLI, F. (2019). Exploring consumers' attitude towards cultured meat in Italy. *Meat Science*, 150, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.12.014>.
- MANCINI, M.C., ANTONIOLI, F. (2020). To what extent are consumers' perception and acceptance of alternative meat production systems affected by information? The case of cultured meat. *Animals*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/ani10040656>.
- PAGE, M.J., MCKENZIE, J.E., BOSSUYT, P.M., BOUTRON, I., HOFFMANN, T.C., MULROW, C.D., SHAMSEER, L., TETZLAFF, J.M., AKL, E.A., BRENNAN, S.E., CHOU, R., GLANVILLE, J., GRIMSHAW, J.M., HRÓBJARTSSON, A., LALU, M.M., LI, T., LODER, E.W., MAYO-WILSON, E., McDONALD, S., MOHER, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. In *The BMJ* (Vol. 372). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- PAKSERESHT, A., AHMADI KALIJI, S., CANAVARI, M. (2022). Review of factors affecting consumer acceptance of cultured meat. In *Appetite* (Vol. 170). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105829>.
- PALMIERI, N., PERITO, M.A., LUPI, C. (2021). Consumer acceptance of cultured meat: some hints from Italy. *British Food Journal*, 123(1), 109-123. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2020-0092>.
- PIOCHI, M., MICHELONI, M., TORRI, L. (2022). Effect of informative claims on the attitude of Italian consumers towards cultured meat and relationship among variables used in an explicit approach. *Food Research International*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110881>.
- POST, M.J. (2012). Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. In *Meat Science* (Vol. 92, Issue 3, pp. 297-301). <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>.
- ROLLAND, N.C.M., MARKUS, C.R., POST, M.J. (2020). The effect of information content on acceptance of cultured meat in a tasting context. *PLoS ONE*, 15(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231176>.
- ROMBACH, M., DEAN, D., VRIESEKOOP, F., DE KONING, W., AGUIAR, L.K., ANDERSON, M., MONGONDRY, P., OPPONG-GYAMFI, M., URBANO, B., GÓMEZ LUCIANO, C.A., HAO, W., EASTWICK, E., JIANG, Z. (VIRGIL), BOEREBOOM, A. (2022). Is cultured meat a promising consumer alternative? Exploring key factors determining consumer's willingness to try, buy and pay a premium for cultured meat. *Appetite*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2022.106307>.
- SIDDIQUI, S.A., KHAN, S., ULLAH FAROOQI, M.Q., SINGH, P., FERNANDO, I., NAGDALIAN, A. (2022). Consumer behavior towards cultured meat: A review since 2014. In *Appetite* (Vol. 179). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2022.106314>.

- SIEGRIST, M., HARTMANN, C. (2020). Perceived naturalness, disgust, trust and food neophobia as predictors of cultured meat acceptance in ten countries. *Appetite*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104814>.
- SIEGRIST, M., SÜTTERLIN, B. (2017). Importance of perceived naturalness for acceptance of food additives and cultured meat. *Appetite*, 113, 320-326. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.03.019>.
- SIEGRIST, M., SÜTTERLIN, B., HARTMANN, C. (2018). Perceived naturalness and evoked disgust influence acceptance of cultured meat. *Meat Science*, 139, 213-219. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.02.007>.
- SNYDER, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333-339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>.
- TOMIYAMA, A.J., KAWECKI, N.S., ROSENFELD, D.L., JAY, J.A., RAJAGOPAL, D., ROWAT, A.C. (2020). Bridging the gap between the science of cultured meat and public perceptions. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 104, pp. 144-152). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.019>.
- VERBEKE, W., SANS, P., VAN LOO, E.J. (2015). Challenges and prospects for consumer acceptance of cultured meat. In *Journal of Integrative Agriculture* (Vol. 14, Issue 2, pp. 285-294). Editorial Department of Scientia Agricultura Sinica. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60884-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60884-4).
- VURAL, Y., FERRIDAY, D., ROGERS, P.J. (2023). Consumers' attitudes towards alternatives to conventional meat products: Expectations about taste and satisfaction, and the role of disgust. *Appetite*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2022.106394>.
- WILKS, M., HORNSEY, M., BLOOM, P. (2021). What does it mean to say that cultured meat is unnatural? *Appetite*, 156. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.104960>.
- WILKS, M., PHILLIPS, C.J.C., FIELDING, K., HORNSEY, M.J. (2019). Testing potential psychological predictors of attitudes towards cultured meat. *Appetite*, 136, 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.01.027>.
- ZHANG, M., LI, L., BAI, J. (2020). Consumer acceptance of cultured meat in urban areas of three cities in China. *Food Control*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107390>.

Development of regionalised inventory data for Life Cycle Assessment in agri-food sector: the case of italian olive production

Giovanni Mondello
Universtiy of Messina
Teresa Maria Gulotta
Universtiy of Messina
Roberta Salomone
Universtiy of Messina
Patrizia Primerano
Universtiy of Messina
Giuseppe Saija
Universtiy of Messina

ABSTRACT

The lack of representative data is one of the most important issues arising for Life Cycle Assessment (LCA) studies focused on the agri-food sector. Indeed, agricultural processes are strongly influenced by technological, biological, and environmental factors depending on the geographical context in which the practices are implemented. Furthermore, when primary data are not available, the LCA practitioner shall use secondary data through the international scientific literature and databases that should be representative of the investigated system as far as possible. Despite this, the use of secondary data from not regionalised sources may result in missing such representativeness as well as the “true” inventory that reports site-specific data. In this context, the aim of this study is to propose regionalised inventory data, based on secondary sources, related to olives production in Italy. Datasets are referred to 19 Italian Regions and are built starting from the olive yield per ha per each region, as well as using national statistical data, scientific literature, and integrated production regulations. The importance of using such data for implementing LCA studies to evaluate olive production and related derivatives has been confirmed through descriptive statistical analysis, by which high variability in terms of input and output among the different Regions has emerged.

This study is part of the research project “Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian LCI Database of Agri-Food Products (ILCIDAF)” (PRIN – Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale 2017- Prot. 2017EC9WF2, sector ERC SH2, Linea C – funded by the Ministry of University and Research).

KEYWORDS: Life Cycle Assessment, inventory data, ILCIDAF, agri-food, olive, regionalised data

1 Introduction

During the last decades, the Life Cycle Assessment (LCA) method has been widely adopted by academics for assessing the environmental impacts caused by the agrifood sector (Bessou et al., 2013). The increasing use of the LCA method is mainly due to the need to identify environmentally friendly solutions aimed at reducing resource use while increasing production performances, as well as at achieving carbon neutrality, which is currently challenging, in the sector (Notarnicola et al., 2017; Acampora et al., 2023). Indeed, the agrifood sector is responsible for about 16 billion tons of carbon dioxide equivalent (CO₂eq) per year, contributing about 31% to the global anthropogenic greenhouse gasses (GHG) emission. These impacts mainly occur during the agricultural and transformation phases (FAO, 2022). Among the various agrifood productions, olives and olive oil are considered one of the most important supply chains in the Mediterranean countries, in terms of economic value, production volumes, and cultivation practices (Fernández-Lobato et al., 2021; Dahdouh et al., 2023). The European Union contributes 67% to the world's production of olive oil, being the leading producer worldwide. In particular, Spain and Italy represent the main EU countries in terms of olive oil production, respectively contributing for 66% and 15%, followed by Greece (13%) and Portugal (5%) (European Commission, 2020). But, despite their importance, olives and olive oil are also responsible for high environmental impacts (Baniyas et al., 2017). In this regard, the LCA method has been widely adopted for assessing the environmental performance of olive oil, considering all the phases among its life cycle. According to Rapa et al. (2022), most of these studies adopted secondary data, coming from commercial databases for building the Life Cycle Inventory (LCI). In particular, among the various available commercial LCA databases, the Ecoinvent is the most adopted in LCA studies concerning olive oil productions, specifically referring to analysis in which the geographical area is related to the Italian boundaries (Mondello et al., 2022). In this context, despite the LCA being considered “not-site specific” (Udo de Haes, 2006), there is a common consensus among practitioners about the need for data that should be site-specific and thus as much as possible representative of the investigated system (Frischknecht et al., 2018). This is particularly true for the agrifood sector and, in particular, for olive oil, since its production activities, specifically the agricultural ones, are characterized by high variability in terms of tech-

nological, biological, and environmental factors, that are strongly connected to the geographical boundaries (Liliane and Charles, 2020).

Regarding the use of secondary data from databases, the ILCD Handbook (JRC-IES, 2010) points out that datasets from databases should be accurate, precise, and complete for the investigated system. In addition, the handbook states that, when the LCI phase is carried out, the datasets related to a specific geographical area may be adapted for another one only if these data are appropriate and representative of the analysed technology. In the specific context of olives and olive oil, Notarnicola et al. (2022) highlighted that the Ecoinvent database includes four datasets directly related to olive production, and only one is referred to the Italian context, including data related to 70 inputs and outputs. Despite this, the study also pointed out that, among these inputs and outputs, only four data are really representative of the Italian boundaries. The use of such secondary data may result in biases in the LCI as well as in increasing the uncertainty of the LCA outcomes. Thus, there is a need for appropriate, representative, and regionalized datasets that are able to capture the intrinsic and extrinsic characteristics of the investigated agrifood system. In this context, the project “Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian LCI Database of Agri-Food Products (ILCIDAF)” [PRIN – Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale 2017- Prot. 2017EC9WF2, settore ERC SH2, Linea C – funded by the Ministry of University and Research] has the scope of developing and providing LCIs for four Italian agri-food products, i.e., olive oil, citrus, wine, and grain products.

The goal of this study is to propose regionalized datasets related to olives production in Italy, also highlighting the methodological approach applied starting from secondary sources. In addition, a descriptive statistical analysis is carried out in order to point out the importance of using regionalized data, by highlighting the degree of variability in terms of input and output among the different Italian Regions.

2 Methodology

In this section, the methodology used for developing the regional inventories related to olive production in Italy, as well as the descriptive statistical analysis are described. In particular, the datasets are related to 19 Regions, excluding Valle d’Aosta for which the data needed for building the related LCI are not available. Furthermore, data are normalized to 1 ha of olive yield.

2.1 Development of regional inventories

Figure 1 describes the methodological steps adopted for developing the Italian regional LCIs related to olive production. Specifically, three main

steps have been considered: 1) calculation of olive yields; 2) estimation of main inputs; and 3) quantification of direct emissions.

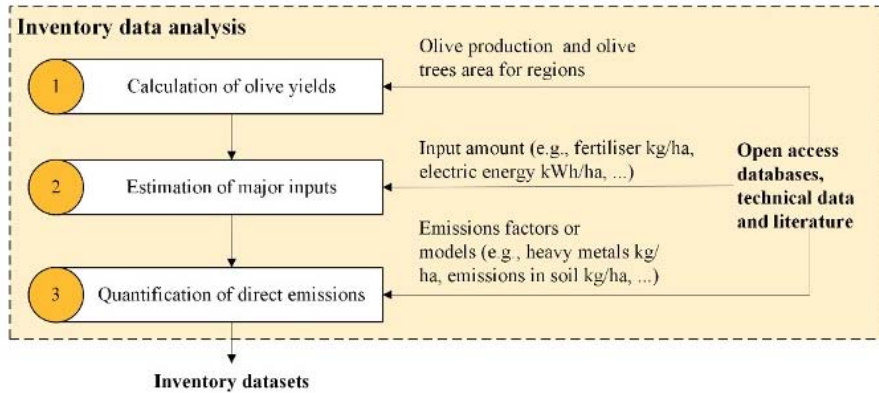


Figure 1 – Illustration depicting the process of creating inventory datasets

The first step involves calculating olive yields for different Italian regions. This requires utilizing the statistical database provided by the National Institute of Statistics (ISTAT, 2021). In relation to the olive oil supply chain, this database provides information about olives produced by each region and their related cultivated area for olive growing, and olive oil produced. By dividing the olives produced (in kilograms or tons) by the cultivated area (in hectares), the olive yields are calculated. This data is crucial for quantifying all inputs (e.g., fertilizer, pesticides, etc.) and then related outputs (e.g., emissions). To accommodate for fluctuations in olive production over the years, the datasets are developed using multi-year data spanning from 2015 to 2020.

The second step involves estimating the main inputs. Unlike the olive yield calculations, specific statistical data representing resource flows for processes such as fertilization, pesticide control, irrigation, and ancillary materials used for soil management, pruning, and harvesting were not identified. For these phases, data are estimated using scientific literature (Ribaud, 2017) and integrated production regulations (IPRs) (MASAF, 2021). The first document is an agricultural handbook that offers information on the average usage of general resources (such as materials, energy, and water) in specific Italian regions for established production procedures of distinct varieties of olive trees. From it, data related to ancillary materials (i.e., diesel and lubricant) and, if available, water and energy used for irrigation were selected. While the document also provides data on the types and amounts

of fertilizers and pesticides used, most of them and their quantities are no longer permitted by national legislation. For this reason, the data for these two types of inputs were estimated based on the IPRs specific to each region for standard integrated cultivation. Three types of synthetic fertilizers were selected for the datasets: nitrogen (N), phosphorus pentoxide (P_2O_5), and potassium oxide (K_2O). As for pesticides, copper oxide, and mancozeb were selected. An exception to the input data was made for the transportation of both pesticides and fertilizers. In this case, it was estimated that the distance traveled for transportation is equivalent to the national average distance estimated for the transport of chemical substances, as reported in the EUROSTAT statistical database (EUROSTAT, 2021). All these input data were normalized to regional olive yield values.

Afterward, the third final step involves estimating direct emissions associated with various agricultural inputs, including fertilizers, pesticides, and fuel combustion, as well as the output harvested (such as from the amounts of harvested olives) or losses due to natural phenomena (e.g., erosion, leaching, etc.). For this purpose, various models sourced from the literature were applied, covering the following categories:

- *Emissions from fertilization*: this category encompasses emissions released into the air and water resulting from the use of NPK fertilizers. The emissions were calculated using the simplified method described by Zampori and Pant (2019) for estimating the emissions of dinitrogen monoxide (N_2O), nitrogen oxides (NO_x), ammonia (NH_3), and nitrate (NO_3^-) due to the use of nitrogen fertilizers. Additionally, the SALCA-P emission models (Prasuhn, 2006) were employed to estimate phosphorus (P) emissions to water resulting from the use of phosphorus fertilizers.
- *Emissions from pesticide control*: this category encompasses emissions into the air, water, and soil resulting from the application of the two pesticides. The emissions were calculated using the model proposed by Zampori and Pant (2019), which assumes that 90% of the active ingredient is absorbed into the ground, 9% into the air, and 1% into the water.
- *Emissions from fuel combustion*: this category encompasses emissions released into the air because of burning fuel used as ancillary materials in machinery or tools (e.g., pneumatic scissors, etc.) for soil management, pruning, and harvesting processes. The emissions were calculated using the model proposed by Nemecek and Kägi (2007) related to diesel consumption.
- *Emissions of heavy metals*: this category encompasses emissions of seven heavy metals – Chromium (Cr), Cadmium (Cd), Lead (Pb), Nickel (Ni), Copper (Cu), Zinc (Zn), and Mercury (Hg) -

released into surface water, groundwater, and the soil. These emissions result from both natural processes (erosion and leaching phenomena) and human activities (e.g., soil tillage, application of fertilizers and pesticides, harvesting of olives, etc.). The extent of these emissions is significantly influenced by the topography and climatic conditions of the studied regions. Therefore, the model proposed by Notarnicola et al. (2023) is utilized to estimate the regionalized effects.

2.2 Data analysis

In line with the study's aim, statistical calculations are employed to highlight the extent of variation in input and output across the different regional datasets. These calculations are then graphically represented, whenever possible, through plot boxes or reported in tables. Specifically, the 19 datasets and 59 parameters are analyzed using the data analysis toolkit in MS Excel, with a focus on applying descriptive statistics. This toolkit comprises various tools for quantitatively summarizing data, computing measures of central tendency (such as Mean, Median, and Mode) and dispersion (including minimum and maximum values, range, standard deviation/variance, etc.) for a given dataset (Gudivada, 2017).

3 Results and Discussion

Table 1 and Table 2 report an example of inventories related to the cultivation of 1 ha of olives in Italian Regions, in terms of main inputs and direct emissions. In particular, data refer to the main Italian olive producers in 2022, i.e., Apulia, Calabria, and Sicily (ISTAT, 2022). The inventories related to the inputs are grouped by categories (e.g., fertilisers, pesticides, etc.) while data related to the direct emissions are reported considering the compartment to which the emissions are released. It is important to highlight that the data related to the heavy metals' emissions to soil shows a negative value (Table 2). This is due to the fact that the emissions to surface water and groundwater, in terms of leaching and erosion, are higher than the amount of heavy metals contained in the pesticides and fertilisers as input, causing a negative balance to soil. A first analysis of the regional inventories obtained using secondary data permits highlighting a high variability in terms of data among the different Regions. In this regard, the differences between regions, in terms of inputs and outputs related to the production of olives, are further investigated through the descriptive statistical analysis.

Category	Name	Unit	Apulia	Calabria	Sicily
Fertilizer	Nitrogen	kg	29.11	28.71	26.27
	Phosphorus pentoxide	kg	12.13	34.18	10.95
	Potassium oxide	kg	29.11	61.52	26.27
Pesticides	Copper	kg	0.97	1.37	0.88
	Mancozeb	kg	0.61	0.85	0.55
Machinery and equipment	Diesel	kg	32.19	45.45	32.57
	Lubricant	kg	0.61	0.86	0.62
Irrigation	Water	m ³	406.42	573.78	411.12
	Electricity	kWh	215.03	303.58	217.52
Transport	Pest. and fert. transport	tkm	20.21	35.58	18.24

Table 1 – Main inputs related to the cultivation of 1 ha olives field (regional data for the main Italian olive producers)

Compartment	Category	Name	Unit	Apulia	Calabria	Sicily
Emissions to air	Fertilisers	Dinitrogen monox.	kg	6.40E-01	6.32E-01	5.78E-01
	Fertilisers	Nitrogen oxides	kg	1.34E-01	1.33E-01	1.21E-01
	Fertilisers	Ammonia	kg	3.49E+00	3.45E+00	3.15E+00
	Pesticides	Copper	kg	8.73E-02	1.23E-01	7.88E-02
	Pesticides	Mancozeb	kg	5.46E-02	7.69E-02	4.93E-02
	Fuel	Ammonia	kg	6.44E-04	9.09E-04	6.51E-04
	Fuel	Benzene	kg	2.35E-04	3.32E-04	2.38E-04
	Fuel	Benzo (a)pyrene)	kg	9.66E-10	1.36E-09	9.77E-10
	Fuel	Cadmium	kg	3.22E-10	4.55E-10	3.26E-10
	Fuel	Carbon diox., fossil	kg	1.00E+02	1.42E+02	1.02E+02
	Fuel	Carbon mon., fossil	kg	1.75E-01	2.47E-01	1.77E-01
	Fuel	Chromium	kg	1.61E-06	2.27E-06	1.63E-06
	Fuel	Copper	kg	5.47E-05	7.73E-05	5.54E-05
	Fuel	NMVOC,	kg	8.53E-02	1.20E-01	8.63E-02
	Fuel	Methane	kg	4.15E-03	5.86E-03	4.20E-03
	Fuel	Nickel	kg	2.25E-06	3.18E-06	2.28E-06
	Fuel	Nitrogen oxides	kg	1.35E+00	1.90E+00	1.36E+00
	Fuel	Dinitrogen monox.	kg	3.86E-03	5.45E-03	3.91E-03
	Fuel	Part. < 2.5 um	kg	1.39E-01	1.96E-01	1.41E-01
	Fuel	Sulfur dioxide	kg	3.25E-02	4.59E-02	3.29E-02
Fuel	Zinc	kg	3.22E-05	4.55E-05	3.26E-05	
Fuel	Heat, waste	MJ	1.46E+00	2.06E+00	1.48E+00	

Emissions to water (surface water)	Heavy metal	Cadmium	kg	3.20E-05	6.85E-04	2.76E-04
	Heavy metal	Chromium	kg	1.89E-02	4.97E-01	1.83E-01
	Heavy metal	Copper	kg	4.05E-03	3.49E-01	4.06E-02
	Heavy metal	Mercury	kg	1.54E-07	4.45E-05	3.61E-06
	Heavy metal	Nickel	kg	1.00E-02	3.28E-01	7.64E-02
	Heavy metal	Lead	kg	7.97E-04	1.82E-01	1.82E-02
	Heavy metal	Zinc	kg	6.88E-03	6.46E-01	1.57E-01
Emissions to water (groundwater)	Heavy metal	Cadmium	kg	2.59E-04	1.56E-03	7.32E-05
	Heavy metal	Chromium	kg	1.74E-02	2.08E-02	2.00E-02
	Heavy metal	Copper	kg	1.18E-03	1.74E-02	7.83E-04
	Heavy metal	Mercury	kg	2.15E-08	1.79E-07	6.51E-08
	Heavy metal	Lead	kg	1.53E-04	7.59E-03	1.51E-04
	Heavy metal	Zinc	kg	1.08E-03	4.39E-02	1.37E-03
Emissions to water (river, lake, etc)	Fertilisers	Nitrate	kg	3.87E+01	3.82E+01	3.49E+01
	Fertilisers	Phosphorus	kg	2.67E-01	7.52E-01	2.41E-01
	Pesticides	Copper	kg	9.70E-03	1.37E-02	8.76E-03
	Pesticides	Mancozeb	kg	6.06E-03	8.54E-03	5.47E-03
Emissions to soil	Heavy metal	Cadmium	kg	3.41E-04	-4.82E-04	2.21E-04
	Heavy metal	Chromium	kg	-2.63E-02	-4.92E-01	-1.94E-01
	Heavy metal	Copper	kg	-2.98E-03	-3.61E-01	-3.93E-02
	Heavy metal	Mercury	kg	3.96E-06	-3.93E-05	5.18E-08
	Heavy metal	Nickel	kg	-8.06E-03	-3.23E-01	-7.46E-02
	Heavy metal	Lead	kg	3.53E-05	-1.87E-01	-1.74E-02
	Heavy metal	Zinc	kg	6.73E-03	-6.56E-01	-1.46E-01
	Pesticides	Copper	kg	8.73E-01	1.23E+00	7.88E-01
	Pesticides	Mancozeb	kg	5.46E-01	7.69E-01	4.93E-01

Table 2 – Direct emissions related to the cultivation of 1 ha olives field (regional data for the main Italian olive producers)

The results obtained through the descriptive statistical analysis permit to point out whether there is variability among the data related to olive production for each Italian Region, and its magnitude.

Table 3 and Figure 2 report the statistical analysis related to the main inputs accounted for the regional datasets. The results show that a high variability exists, among the different Regions, for all the data used for developing the LCIs. In particular, the widest variability emerges for the electricity and water used for irrigation processes (table 3), for which the coefficient of variation is equal to 156.1%. This high variability is because the irrigation activities have been only considered for regions that are geographically located in areas with a low rainfall distribution, while, for the other ones, no inputs in terms of electricity and water have been calculated. Considering the regions for which the irrigation process has been accounted, the maximum values are related to the Molise Region, for which the water and electricity inputs are respectively equal to 869.76 m³ per hectare (ha) and 460.18 kWh per ha. On the contrary, the Sardinia Region shows the minimum values for irrigation, respectively 187,81 m³ per ha of water, and 99.37 kWh per ha of electricity. Regarding the other inputs (figure 2), the statistical analysis points out that the coefficient of variation ranges from 0.50 for lubricant oil to 0.61 for K₂O as fertiliser. As previously stated, it is important to underscore that the inputs are normalised to the regional olive yield values, thus lower amount of inputs is expected for those regions with a lower productive yield (e.g., Molise).

Utilities (irrigation)	<i>Mean</i>	<i>Standard deviation</i>	<i>Minimum value</i>	<i>Maximum value</i>	<i>Coefficient of variation</i>
Water	164.76	257.13	0	869.76	1.56
Electricity	87.18	136.04	0	460.18	1.56

Table 3 – Statistical analysis related to electricity and water inputs (data for 19 Italian Regions; reference unit: 1 ha olives)

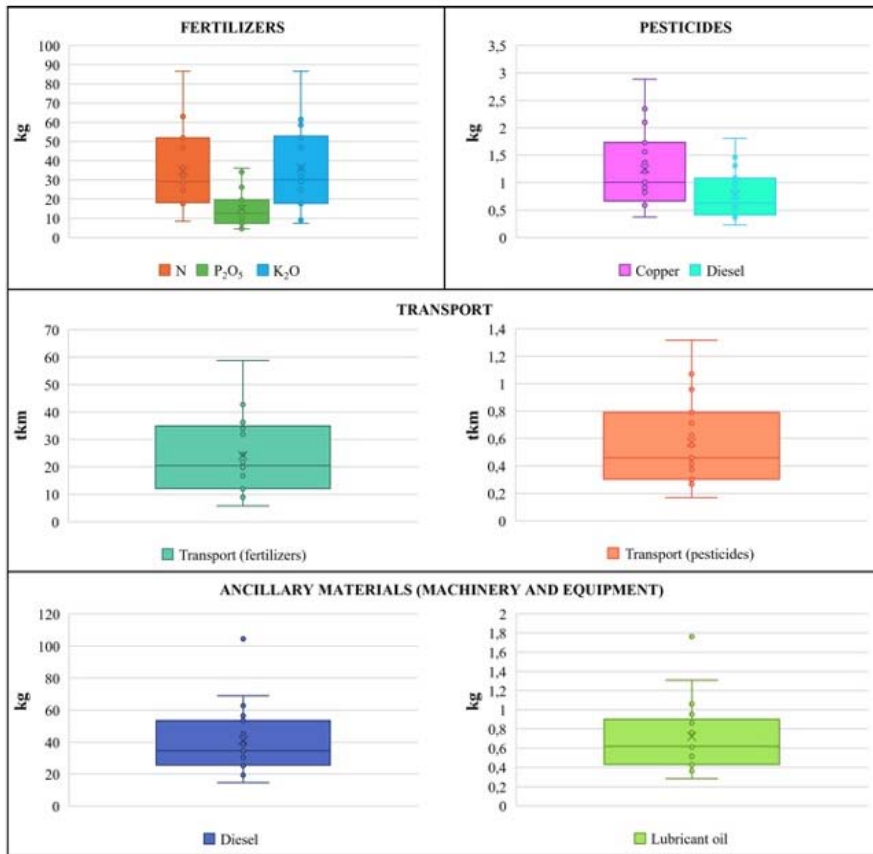


Figure 2 – Descriptive statistical analysis of the main input for the cultivation of 1 ha olives field (data for 19 Italian Regions)

The analysis of the direct emissions caused by fertilisers and pesticides use also underscores a high variability among regions (Figure 3 and Table 4). Regarding fertilisers, the highest direct emissions to air are related to NH_3 , for which the minimum and maximum values among the Italian regions vary from 1 kg per ha to 10.85 kg per ha (the mean is equal to 4.17 kg per ha). While, for the water compartment, the emissions are mainly connected to nitrate, for which the mean value related to the 19 regions accounts for 46.22 kg per ha. The coefficient of variation for the fertilisers ranges from 0.56 for N_2O , NO_x , NH_3 , and NO_3^- to 0.61 for P.

Instead, the main findings related to the direct emissions from pesticides (table 4), specifically copper and mancozeb, highlights that, as expected, the main releases are to soil compartment, for which the copper

emissions range from 0.33 kg per ha to 2.60 kg per ha, while the mancozeb emissions vary from 0.21 kg per ha to 1.62 kg per ha. In particular, the regions accounting for the lowest and highest direct emissions to soil are respectively represented by Sardinia and Trentino Alto Adige. As for fertilisers, pesticides emissions also widely vary among the Italian regions, resulting in a coefficient of variation equal to 0.56.

The results from the statistical analysis also highlight a remarkable diversity in terms of direct emissions due to fuel, for which the related coefficient of variation is equal to 0.52.

The variability in terms of direct emissions to air, water and soil from fertilisers, pesticides and diesel is mainly related, on the one hand, to the specific olive yield accounted from statistical data per each Region, on the other, to the models used for their quantification, which were gathered from the international scientific literature.

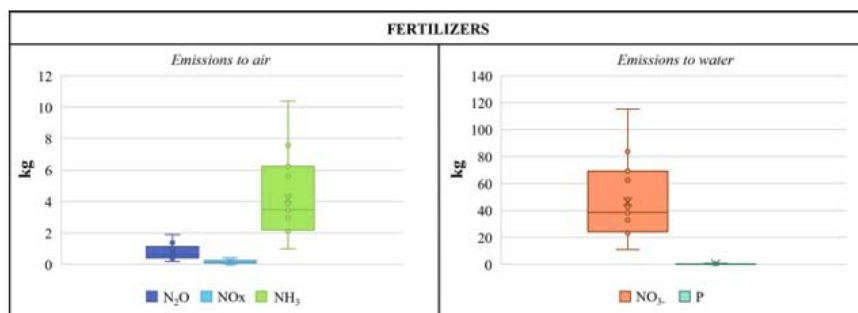


Figure 3 – Descriptive statistical analysis of the data related to fertiliser emissions (data for 19 Italian Regions; reference unit: 1 ha olives field)

Pesticide		Mean	Standard deviation	Minimum value	Maximum value	Coefficient of variation
Emission to air	<i>Copper</i>	0.11	0.06	0.03	0.26	0.56
	<i>Mancozeb</i>	0.07	0.04	0.02	0.16	0.56
Emission to water	<i>Copper</i>	1.25E-02	6.96E-03	3.71E-03	2.89E-02	0.56
	<i>Mancozeb</i>	7.82E-03	4.35E-03	2.32E-03	1.80E-02	0.56
Emission to soil	<i>Copper</i>	1.13	0.63	0.33	2.60	0.56
	<i>Mancozeb</i>	0.70	0.39	0.21	1.62	0.56

Table 4 – Statistical analysis related to the direct emissions from pesticides (data for 19 Italian Regions; reference unit: 1 ha olives field)

The main outcomes connected to the direct emissions, in terms of heavy metals, caused by natural phenomena and human activities are reported in Figure 4, in which the results are summarised considering leaching and erosion phenomena as well as the mass balance of the soil.

The analysis shows that the data associated with heavy metals emissions are characterised by the highest variability among all the inputs and outputs accounted for the proposed regional inventories. In particular, Lead and Mercury show the highest coefficient of variation for the data related to the emissions to surface water (leaching), accounting for 1.38 and 1.34. Considering, for instance, the Lead, the minimum and maximum emission values range from 0.0002 kg per ha for Calabria to 0.18 kg per ha for the Liguria Region. Regarding the other emissions due to leaching, the results show that the variability is higher than 0.7 for all the heavy metals (values vary from 0.78 for Chromium to 1.01 for Zinc).

Regarding the data related to the emissions to groundwater connected to erosion phenomena, the main findings underscore that, in addition to Lead and Mercury, a high variability is connected to Zinc (coefficient of variation equal to 1.10), which also shows the highest maximum value in terms of emission to groundwater among the different heavy metals included in the inventories (0.04 kg per ha for the Calabria Region).

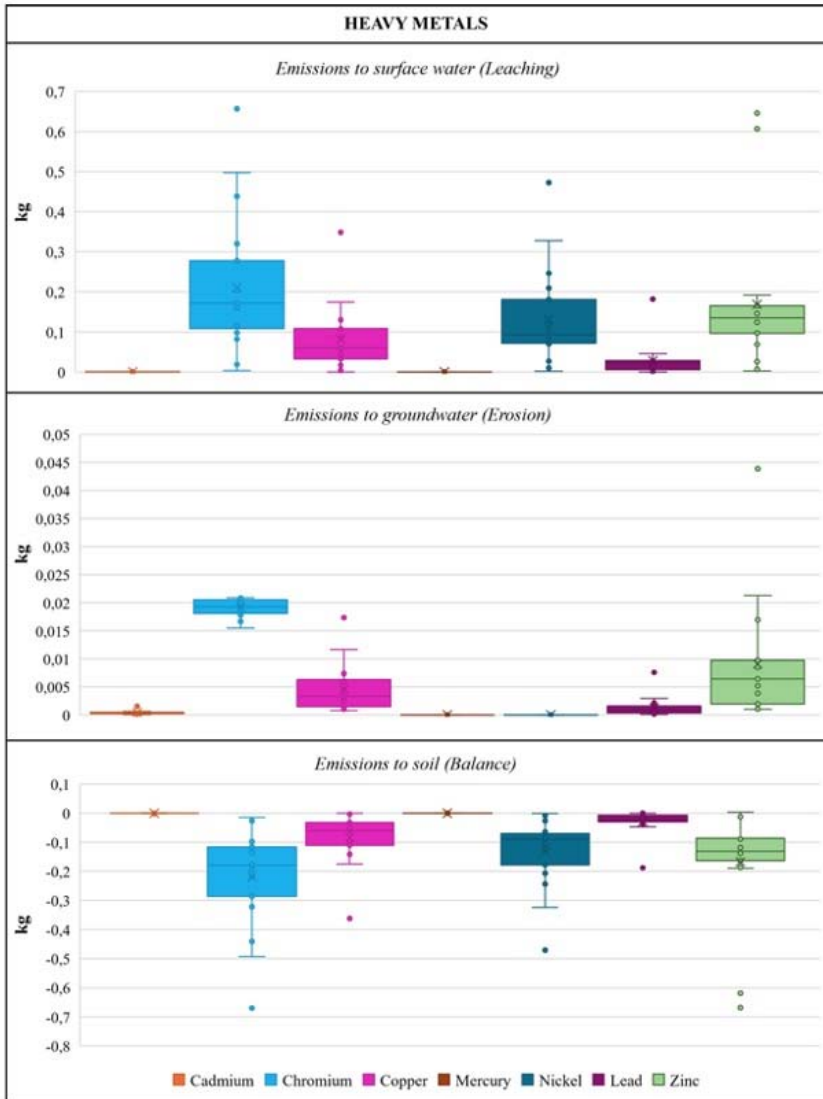


Figure 4 – Descriptive statistical analysis of the data related to heavy metals emissions (data for 19 Italian Regions; reference unit: 1 ha olives field)

Lastly, most of the data related to the emissions to soil, show negative values in terms of mass balance of heavy metals to soil. As previously pointed out, this is because the emissions connected to leaching and erosion

(as outputs) are higher than the amount of heavy metals, as inputs, related to natural phenomena and human activities, thus resulting in negative values when the mass balance to soil is calculated. This is particularly true for Cadmium and Mercury, for which the coefficient of variation is respectively of - 9.99 and -1.97.

The remarkable variability of heavy metals emissions is mainly due to the fact that the related amounts have been calculated starting from geospatial data on cropland, and site-specific data on concentration and soil characteristics as reported in Notarnicola et al. (2023).

4 Conclusions

The aim of this study was to propose regionalized LCIs related to olives production in Italy. In this regard, the methodological approach adopted for building the inventories related to 19 regions, starting from secondary sources, has been also proposed. Furthermore, the importance of using regionalized data has been pointed out through a descriptive statistical analysis, by which variabilities among the LCIs for the Italian regions were investigated. Due to space limits, only data for 3 inventories related to the main Italian regions in terms of olive oil production (i.e., Apulia, Calabria, and Sicily) are here provided. In particular, the data refer to main inputs, in terms of fertilisers, pesticides, fuel, lubricant oil, electricity, water, and transport, as well as to outputs, in terms of direct emission from fertilisers and pesticides use, diesel combustion, and heavy metals. Furthermore, the results obtained from the statistical analysis highlighted a high variability among the investigated inventories related to the different Italian regions. Indeed, the main findings underlined that the coefficient of variation among the regions is higher than 50% for all the LCIs proposed. With specific regard to heavy metals, results showed that negative values in terms of direct emission occur when the mass balance to soil is calculated. This also permits to underscore that building a representative inventory is fundamental also to capture specific peculiarities (i.e., negative emissions) that may allow to account potential environmental benefits related to the investigated agrifood system.

The outcomes of this study highlight and confirm the importance of using representative and regionalised data in LCA studies related to olives and related derivatives. This may also be widened to the whole agrifood sector, considering the intrinsic and extrinsic factors characterising the products and the production activities.

Considering that this study is focused on the LCI phase, further future analysis should be oriented in investigating how the use of represen-

tative inventories for olive and olive oil production may influence the results obtained through the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) phase.

Acknowledgements

This article is part of the results of the research project “Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian LCI Database of Agri-Food Products (ILCIDAF)” (PRIN – Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale 2017- Prot. 2017EC9WF2, settore ERC SH2, Linea C – funded by the Ministry of University and Research).

References

- ACAMPORA, A., RUINI, L., MATTIA, G., PRATESI, C.A., LUCCHETTI, M.C. (2023). Towards carbon neutrality in the agri-food sector: Drivers and barriers. *Resources, Conservation and Recycling*, 189, 106755.
- BANIAS, G., ACHILLAS, C., VLACHOKOSTAS, C., MOUSSIOPOULOS, N., STEFANOPOULOS, M. (2017). Environmental impacts in the life cycle of olive oil: A literature review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(6), 1686-1697.
- BESSOU, C., BASSET-MENS, C., TRAN, T., BENOIST, A. (2013). LCA applied to perennial cropping systems: a review focused on the farm stage. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(2), 340-361.
- DAHDOUH, A., KHAY, I., LE BRECH, Y., EL MAAKOUL, A., BAKHOUYA, M. (2023). Olive oil industry: a review of waste stream composition, environmental impacts, and energy valorization paths. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(16), 45473-45497.
- EUROPEAN COMMISSION. (2020). Olive oil: An overview of the production and marketing of olive oil in the EU. European Commission. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/plants-and-plant-products/plant-products/olive-oil_en (accessed 09.09.2023).
- EUROSTAT. (2021). National annual road transport by group of goods and type of transport (1 000 t, Mio Tkm), from 2008 onwards [ROAD_GO_NA_TGTT__custom_1947811] https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/road_go_ta_tg/default/table?lang=en (accessed 26.07.2023).
- FAO (2022). Greenhouse gas emissions from agrifood systems. Global, regional and country trends, 2000-2020. FAOSTAT Analytical Brief Series No. 50. Rome, FAO.
- FERNÁNDEZ-LOBATO, L., GARCÍA-RUIZ, R., JURADO, F., VERA, D. (2021) 'Life cycle assessment, C footprint and carbon balance of virgin olive oils production from traditional and intensive olive groves in southern Spain', *Journal of Environmental Management*, 293, 112951.
- FRISCHKNECHT, R., PFISTER, S., BUNSEN, J., HAAS, A., KÄNZIG, J., KILGA, M., WERNET, G. (2019). Regionalization in LCA: current status in concepts, software and databases—69th LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 13 September, 2018. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(2), 364-369.
- GUDIVADA, V.N. (2017). Data analytics: fundamentals. In *Data analytics for intelligent transportation systems* (pp. 31-67). Elsevier.
- ISTAT. (2021). Istat.it [WWW Document]. URL <https://www.istat.it/> (accessed 20.07.2023).

- ISTAT. (2022). Istat.it [WWW Document]. URL <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=33706> (accessed 29.09.2023).
- JRC-IES (2010). European Commission – Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010.
- LILIANE, T.N., CHARLES, M.S. (2020). Factors Affecting Yield of Crops. In (Ed.), *Agronomy – Climate Change & Food Security*. IntechOpen.
- MASAF. (2021). *Disciplinari regionali: Produzione integrata* [WWW Document]. Ministero dell'agricoltura della sovranità alimentare e delle foreste. URL <https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/22398> (accessed 23.07.2023).
- MONDELLO, G., GULOTTA T.G., SAIJA, G., SALOMONE, R., PRIMERANO, P. (2022) 'Regionalizing LCI data for olive oil production: food for thought et al._in XVI Convegno Associazione Rete Italiana LCA, La sostenibilità nel contesto del PNRR: il contributo della Life Cycle Assessment, 22-24 June 2022, Palermo, Italy.
- NEMECEK, THOMAS, BENGUA, X., LANSCH, J., ROESCH, A., FAIST-EMMENEGGER, M., ROSSI, V., HUMBERT, S. (2019). *Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products*. World Food LCA Database Report.
- NOTARNICOLA, B., ASTUTO, F., DI CAPUA, R., GULOTTA, T.M., MONDELLO, G., SAIJA, G., ARZUMANIDIS, I., D'EUSANIO, M., PETTI, L., FALCONE, G., FAZARI, A., STRANO, A. (2023). Estimation of heavy metals emissions in agricultural productions: the case of Italian products. *Cleaner Environmental Systems* 9, 100122.
- NOTARNICOLA, B., SALA, S., ANTON, A., MCLAREN, S.J., SAOUTER, E., SONESSON, U. (2017). The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges, *Journal of Cleaner Production*, 140, 399-409.
- NOTARNICOLA, B., TASSIELLI, G., RENZULLI, P.A., DI CAPUA, R., SAIJA, G., SALOMONE, R., MISTRETTA, M. (2022). Life cycle inventory data for the Italian agri-food sector: background, sources and methodological aspects. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1-16.
- PRASUHN, V. (2006). Erfassung der PO₄- Austräge für die Ökobilanzierung. In *SALCA-Phosphor*. Agroscope FAL Reckenholz, Zürich.
- RAPA, M., CIANO, S. (2022). A review on life cycle assessment of the olive oil production. *Sustainability*, 14(2), 654.

- RIBAUDO, F. (2017). Prontuario di agricoltura: ordinamenti colturali, aziende agricole, fabbricati rurali, cure colturali e tempi di lavoro, coltivazioni e allevamenti, selvicoltura e cantieri forestali, prezziario, Seconda Edizione. Hoepli Editore, Milano.
- UDO DE HAES, H. (2006). How to approach land use in LCIA or, how to avoid the Cinderella effect?. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(4), 219-221.
- ZAMPORI, L., PANT, R. (2019). Suggestions for updating the Organisation Environmental Footprint (OEF) method. EUR 29682 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Development of innovative supply chains for the valorization of Carob cultivation

Giulio Paolo Agnusdei
Università di Bologna
Federica De Leo
Università del Salento
Marcello Ruberti
Università del Salento
Stefania Massari
Università del Salento
Pier Paolo Miglietta
Università del Salento

ABSTRACT

The carob tree is an arboreal species which represents a distinctive element of the Mediterranean ecosystems, often found as a spontaneous plant of the Mediterranean scrub, more easily diffused together with olive and citrus trees. As the carob survives in dry climates without additional irrigation, it can be considered an interesting crop for productive forestation, especially for areas characterized by higher water scarcity and specific soil constraints. The economic interest concerning carob cultivation has been underestimated for a long time. In fact, it has been considered for centuries as a low-cost and high-energy food mainly used for livestock feeding. This resulted in the gradual replacement of carob trees with more profitable value crops. Until the 60s the use of carobs was substantially linked to their pulp (on average about 90% of the total weight of the fruit) mainly used as animal feed, but, recently, the seed, useful for LBG (Locust Bean Gum) extraction, is increasing its commercial value. In this study the different varieties of carob were evaluated in order to identify the most suitable for the extraction of LBG, both in terms of yield and technological properties. The study is a preliminary step for the development and enhancement of an innovative agri-food supply chain which can realize high potential in terms of industrial use and added value, preserving and promoting the territory.

KEYWORDS: locust bean; crop alternative; agro-technological change; sustainable territorial regeneration; resilience.

1 Introduction

The carob tree is an arboreal evergreen dioecious tree characteristic of Mediterranean ecosystems, often present as a spontaneous plant, more

easily cultivated in association with olive or citrus trees. The official name of carob, *Ceratonia siliqua* L., derives from the Greek word “keras” and the Latin word “siliqua” that describes the hard texture of the pod (Gioxari et al., 2022). Its adaptation to the Mediterranean climate is essentially due to its physiological needs as it requires a mild climate and suffers from prolonged frosts (Tous et al., 2013).

Its origin as well as the original diffusion is uncertain since its cultivation goes back to the ancient times (the Bible also refers to the carob fruits with which the pigs were fed), but on the basis of the available knowledge, the carob is considered original and typical of the eastern Mediterranean area and seems to have been introduced into the countries of the western Mediterranean in Roman times, but it is believed that the varieties cultivated today derive from germplasm introduced during the Arab domination in the medieval era (Ramón-Laca & Mabblerly, 2004).

The carob pod is an edible bean, commonly known as locust bean, which comprises pulp (about 90%) and the seeds (about 10%) (Figure 1).

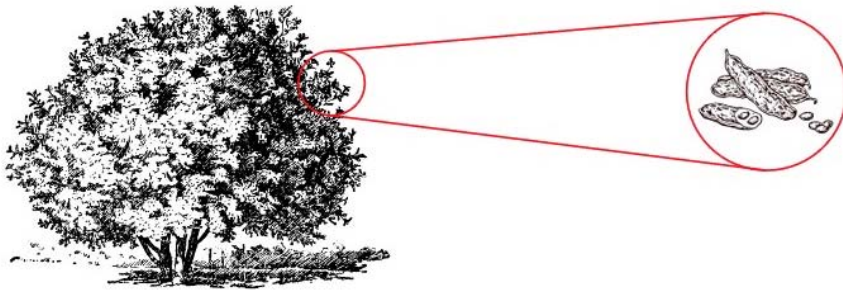


Figure 1 – Carob tree and pod

In terms of the use of carob fruits, it is possible to identify certain historical phases. The Middle Ages is definitely the time of maximum propagation of the harvest across the Mediterranean mainly used for food and feed purposes. The crop has spread to all the Mediterranean countries, especially Spain, Italy (Sicily) and the Greek Islands (MASAF, 2012).

Over time, the almost exclusive use of the products of this crop as animal feed, and its low economic value caused a drastic decrease in interest in the crop that remained limited to some marginal areas. The significant decrease in cultivation exposed carobs almost to the risk of extinction. As a result of the gradual abandonment of carob cultivation, the underused genetic resources of the species appeared to be at risk of erosion. More recently, instead, novel forms for the use of carob bean products, in the food,

feed and pharmaceuticals sectors, have been found. This may lead to market re-establishment with a re-evaluation of the species.

Carob based products in the marketplace are mainly represented by carob pulp, seeds and their derivatives. In the carob industry, after harvesting, the pods are crushed to separate seed and pulp that have different compositions and therefore different applications. The main products on the market are (Briamonte et al., 2007):

- pulp in the form of ground pulp, used in the animal feed industry;
- carob flour, a ground and powdered carob product, widely used in feeding stuffs, improving their palatability and giving them anti-diarrheal properties;
- carcao, a cocoa substitute, obtained from the processing of pods having the highest sugar content;
- seed flour, also known as Locust Bean Gum (LBG), produced by the processing of seeds, which contains thickening substances, precious for the many uses in the food industry;
- carob germ flour, obtained from seed processing and widely used in the feed industry, providing feed with a higher protein content, as well as a better level of palatability.

In addition to traditional feed uses, carob-based products have great potential, particularly in the agri-food and pharmaceutical sectors (Zhu et al., 2019).

2 Applications of carob pulp in the food and pharmaceutical industries

The primary carob products are carob flour, also called carob powder, and syrup, which are both obtained from the carob pulp.

Carob flour is important for a wide range of industrial processes of food products. It is produced by kibbling, roasting, and milling carob pods. Nowadays, carob powder has been incorporated as a healthy ingredient into many foods such as cereal based products, breakfast foods to improve the dough's rheological properties, gluten-free bread, dietary supplements, dairy drinks, biscuits, cakes and cookies. The high percentage of natural sugars (about 46%), which provides a healthier alternative to refined white sugar, makes it suitable especially for the confectionery industry. A particular flour, destined for human consumption, commercially called "carcao" is obtained by roasting locust beans under certain conditions. This process generates aromas very similar to cocoa mainly due to the thermal degradation of the high sugar content and secondly, to the subsequent formation of some powerful

odors through the Maillard reaction (Sahin et al. 2009). Carcao is used in the confectionery industry as a substitute for cocoa for a number of reasons including its being cheaper than cocoa. It is also very low in fat and sodium and, unlike cocoa, has almost no caffeine (Akdeniz et al., 2021; Lanfranchi et al., 2019; Loullis et al., 2018). The replacement of cocoa flour with carob flour has been shown to bring significant advantages from nutritional and technological points of view. Regarding the nutritional aspects, the chemical composition of cakes produced with carob flour instead of cocoa powder showed a higher content of dietary fiber and a lower content of fats and carbohydrates as well as a lower caloric intake. From a technological point of view, replacing cocoa with carob flour allows for greater yields. Cakes with up to 75% replacement of cocoa powder with carob flour showed no differences in terms of flavor, smell and texture, demonstrating that substitution up to this level does not influence in any way the organoleptic and sensorial characteristics of the final product (Rosa et al., 2015). From these considerations it is possible to consider carob flour as a precious ingredient/additive containing nutritional and bioactive compounds that can be used in food products as a healthier and cheaper alternative to cocoa. This substitution represents a technological solution in the production of innovative, functional and healthier sweets, with less added fat and sugar and a higher fiber content (Testa et al., 2023). Due to all these characteristics, and due to the growing demand for functional foods and also considering the increase in the costs of cocoa, this by-product of the carob industry is considered a potential future ingredient in cocoa-based formulations and as a nutraceutical ingredient in gluten-free products as well as for the production of healthy/functional foods increasingly requested by the market.

The preparation of carob syrup involves the preparation of a mixture of carob pulp and water which is then drained and boiled until the desired consistency. Carob syrup does not contain oils and is rich in sugar (63,88%), mainly fructose, glucose and sucrose (Musa et al., 2007). It has a high presence of minerals (potassium, phosphorus and calcium) and it has a higher level of silver and titanium than carob fruit. These physico-chemical characteristics make carob syrup a functional ingredient (Brasseco et al., 2021).

From the carob pulp it is also possible to produce carob fiber (from 30% to 40 of the pulp) prepared with water extraction and removal of most carbohydrates in carob pulp. In general, carob fiber is insoluble and not fermentable. Production methods of natural carob fiber have also been patented. Carob fiber has a great potential value in prevention and treatment of colorectal cancer, although unfortunately, the literature that directly proves the anti-colon cancer effect of carob fiber is very limited (Zhu et al. 2019). A beneficial role of carob fiber has also been shown in dyslipi-

demia due essentially to the large amount of insoluble dietary fiber (Valero-Munoz et al., 2014; 2017).

Thanks to its intrinsic health-promoting qualities, carob fiber can be used as a functional ingredient in a wide range of foods (baked products, health bars, extruded products, milk-based drinks and dietary supplements). It has been shown that carob fiber added to food products helps, without causing adverse reactions, to significantly reduce plasma cholesterol levels, especially LDL cholesterol. Furthermore, carob fiber has a substantial amount of insoluble and water-soluble polyphenols with antioxidant potential with positive health effects. The antioxidant activity of carob fiber in food products also helps to improve the shelf life of products (Haber, 2002).

3 Applications of seed flour in the food and pharmaceutical industries

Locust bean seeds consist of the epiperme or external film (30-33% by weight), endosperm or gum (42-46 %) and germ (23-25 %). The most important part of the seed is endosperm, which is very rich in galactomanan that is a polysaccharide molecule composed of mannose and galactose sugar units. This product is known as Locust Bean Gum (LBG) and is used in the food industry as a stabilizing and thickening additive. Seeds are difficult to process, as their coating is very hard. The seeds are peeled without damaging the endosperm and embryos (germs). After the peeling process, the endosperm can be divided from the cotyledons because of their different friability. After the cleavage process, the endosperm is ground on roller mills to the desired particle size to produce LBG and carob germ flour that is a by-product of seed processing (Karababa et al., 2013). LBG is included in the positive list of additives authorized in the European Union (code E 410) and has the characteristic of having high stability at high temperatures. This makes this product useful for many applications in the food industry. Its acceptable daily intake is unlimited because the results of biochemical, toxicological and nutritional studies have shown that it does not present any risk to human health (EFSA, 2017). Commercial application of carob bean gum in the food industry is in the preparation of ice cream, sauces and condiments, frozen products, dairy products and meat products. LBG is used as a food ingredient for its stabilizing and thickening properties and to improve the gel quality of other hydrocolloids. For example, in the manufacturing of low-fat dairy products LBG allows them to maintain a desirable body structure, in the manufacturing of infant formula it increases the viscosity of the milk, in the manufacturing of baked products LBG allows for the production of higher yields of baked products, improves the final

consistency and gives the dough more viscosity (Nasrallah et al., 2023). LGB consists of viscous soluble fibers, capable of modifying the speed of carbohydrate degradation during digestion with beneficial effects on the regulation of postprandial blood sugar and insulin levels, favoring the prevention of obesity and diabetes. LGB may also be useful for the control of inflammatory bowel disease, Crohn's disease and ulcerative colitis (Barak, 2014). Moreover, LBG can be used in the production of edible and biodegradable films/coatings. The demand for these types of packaging is increasing in the food supply chains in order to improve the shelf life of fresh products such as fruit, vegetables and meat as a replacement for plastic packaging. LBG has hydrophilic properties that allow it to produce films with carbon dioxide permeability, oxygen permeability, water vapor permeability, tensile strength and elongation-at-break under certain conditions. LBG edible films can also serve as a carrier of bioactive additives and components (Singh et al., 2022).

Carob germ flour, a by-product of seed processing, has a high protein content, with a high content of lysine and arginine as well as a high presence of dietary fibers and micronutrients. It can potentially be used both as a protein supplement in food preparations and as an ingredient in cereal-based products for people with celiac disease (Saitta et al, 2023). In addition, carob seed flour is used in the textile and paper industries as thickening material for printing (Barak et al., 2014). In the pharmaceutical sector it is used as a binder and disintegrator for tablets and pills, and in many other applications that are being studied in biopharmaceutical industry (Dionisio et al., 2012).

4 Evolutionary trend of carob cultivated area and production

Data analysis focused on the evolution of carob production over time shows a marked decline in interest in this promising crop, which resulted in a significant decrease in cultivated areas and consequently in carob bean production. In fact, from the available data, since the 60s to the present, there has been a decline in both carob production and carob cultivated areas of about 93% worldwide Figure 2 and 3 (FOASTAT, 2023).



Figure 2 – Historical series and average trend of carob production in the world and in Italy



Figure 3 – Historical series and average trend of carob cultivated area in the world and in Italy

Global seed production for the four-year period 2019-2022 varied between 25 and 30 thousand tons, distributed among the producing countries according to the percentages indicated in Figure 4 (ISMEA, 2023).

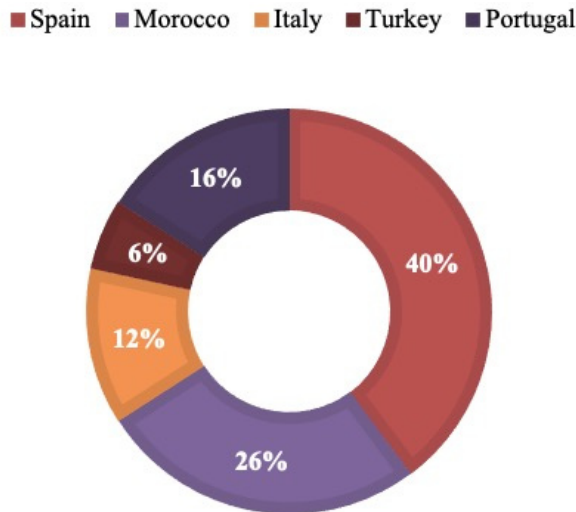


Figure 4 – Percentage of carob seed production per country for the four-year period 2019-2022 at a global level

It is confirmed that the countries with the greatest share of carob production are those in the Mediterranean area, where the Arabs spread the cultivation beginning in the medieval period, mainly in certain regions and well-defined areas where the cultivation of carobs gives a characteristic territorial aspect. However, the decline in carob production, though widespread, has not equally affected all geographic areas devoted to the production of locust beans, and Italy is the country that has been the most resilient with a 67% decrease in cultivated area and a 73% decrease in production Figure 2 and 3 (FAOSTAT, 2023).

Although they are in decline, the main carob cultivated areas in Italy are in Sicily, representing more than 98% of the total carob cultivated area (Table 1), specifically concentrated in the provinces of Ragusa and Siracusa. The second Italian region in terms of carob cultivated area is Apulia, representing less than 2% of the total. In this region carob cultivation could be a valid alternative to regenerate the Salento area (Southern Apulia Region) affected by the *Xylella fastidiosa* outbreak which hit olive groves and to overcome an agricultural system based on monoculture (De Boni et al., 2022).

	2018		2022	
	ha	%	ha	%
Sicily	5.465	98,01	5.415	98,2
Apulia	109	1,95	99	1,8
Lazio	2	0,04	—	—
ITALY	5.576		5.514	

Table 1 – Carob cultivated area in Italy (2018-2022)

Italy has reached a leading position in carob production that until the 90s was occupied by Spain. The Italian average carob production in the last 5 years was approximately 35 million kg per year. As shown in Figure 5, the Italian carob production in 2022 was 356,185 quintals distributed between Sicily (98.5%) and Puglia (1.5%) (ISTAT, 2023).

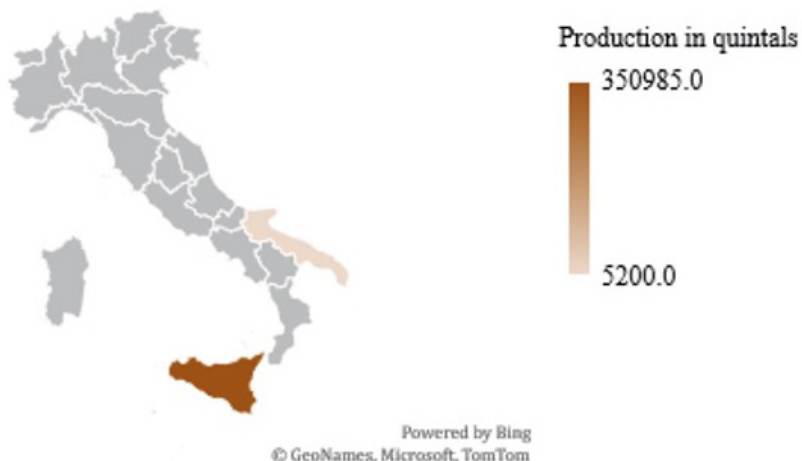


Figure 5 – Regional distribution of carob production in Italy

The cultivation of the carob trees, the production, transformation and marketing of the fruits, seeds and their derivatives are typical economic activities of the Iblean plateau area, in South-Eastern Sicily, which involves the agricultural and livestock sectors, but also the transformation and commercial ones.

The cultivars are *Latinissima*, *Saccarata*, *Racemosa*, *Falcata*, *Ibla*, *Pasta*, *Ruta* and *Tantillo*; among these the *Latinissima* is the most widespread. However, among the most common Italian varieties, a high level of heterogeneity regarding the size and weight of the pod has been observed, as well as the weight and number of the seeds contained in the pod. In particular the pods of *Pasta* are those with the greatest length and together with the *Ruta* are heavier than others. The cultivars *Pasta* and *Ruta* showed the heavier seeds and *Pasta* also showed a higher number of seeds produced. *Ibla* has the highest yield of seeds in terms of seed weight in relation to the weight of the pulp of the pods collected (La Malfa & La Rosa, 2006; La Malfa et al., 2010).

5 Discussions

Since rural areas are periodically subject to significant shocks with heavy environmental, economic and social repercussions, developing useful solutions aimed at ensuring the continuity of the agricultural and agro-industrial systems, the resilience and/or the regeneration of these areas, represents a fundamental need for local communities.

The present study highlights the potentials of carob tree cultivation, as a solution to regenerate marginal areas or areas affected by shocks, ensuring the continuity of the agricultural sector, creating a profitable chain for farmers, which is also virtuous because it is oriented towards the conservation and protection of rural areas, as well as the disincentive of passive farm income.

Recently, after a period of lack of interest in the carob cultivation in Italy, as in other producing countries, there has been greater attention paid to this crop which stems above all from the price response, which, in Italy, has occasionally recorded peaks even higher than 2 euro/kg. All this certainly derives from the international market values of carob seeds intended for rubber extraction. This conjuncture has also led to an increase in the cost of carob seed flour and has recently triggered a reduction in demand (ISMEA, 2023).

Thus, the potential profitability of the carob tree cultivation depends on the valorization of the fruit and seed by the processing industry, to be used to obtain products and by-products aimed above all at the

human and animal food industries; the ease of carob tree agronomic management, resulting from the rusticity characteristics of the species; and the opportunity for expansion into marginal areas.

6 Conclusions

In the past, carobs have mainly been food for livestock and, in periods of reduced availability of food, also a source of energy for people in the Mediterranean region who eat carobs and discard the seeds. Nowadays, carob pulp and beans have the potential to be used to produce high value-added goods.

Carob pulp can be considered a valuable additive usable in food-stuffs as a healthier and cheaper alternative to cocoa. This substitution represents an agro-technological solution for the development of innovative, functional and healthier confectionery, with less fat and added sugar and a higher fiber content.

Also, the seed, whose flour is known as LBG, is of great interest and is rich in galactomannans, highly valued in the food industry for its properties as a thickener, emulsifier, stabilizer and natural gelling agent, as well as in the pharmaceutical and paper industries.

These multiple interests in all parts of the carob require great research efforts related to the selection of species which have a useful pulp/seed ratio according to the different applications. Today the focus is mainly on seedlings with a high yield in seed at the expense of the yield in pulp.

The study represents a preliminary step for the development and enhancement of an innovative agri-food supply chain related to a secular forestry crop, which can develop high potential in terms of industrial use and added value, preserving and promoting preserving and promoting the territory. In addition, the cultivation of *Ceratonia siliqua* L. trees in regions with a Mediterranean climate, with scarce natural resources, will result in the preservation and recovery of the ecosystem services provided by the rural areas, avoiding their marginality and allowing for their regeneration from an economic, environmental and social perspective.

References

- AKDENIZ, E., YAKIŞIK, E., RASOULI PIROUZIAN, H., AKKIN, S., TURAN, B., TIPIGIL, E., OZCAN, O. (2021). Carob powder as cocoa substitute in milk and dark compound chocolate formulation. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 4558-4566.
- BARAK, S., MUDGIL, D. (2014). Locust bean gum: Processing, properties and food applications – A review. *International journal of biological macromolecules*, 66, 74-80.
- BRASDESCO, M.E., BRANDAO, T.R., SILVA, C.L., PINTADO, M. (2021). Carob bean (*Ceratonia siliqua* L.): A new perspective for functional food. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 310-322.
- BRIAMONTE, L., CASTELLOTTI, T., DE CICCIO, A., TORIGHELLI, B., VE-LAZQUEZ, B., MORETTI, M., PASIANI, C. (2007). Il comparto della frutta in guscio in Italia. Roma: Istituto Nazionale di Economia Agraria [INEA].
- DE BONI, A., D'AMICO, A., ACCIANI, C., ROMA, R. (2022). Crop diversification and resilience of drought-resistant species in semi-arid areas: An economic and environmental analysis. *Sustainability*, 14(15), 9552.
- DIONÍSIO, M., GRENHA, A. (2012). Locust bean gum: Exploring its potential for biopharmaceutical applications. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 4(3), 175.
- EFSA PANEL ON FOOD ADDITIVES NUTRIENT SOURCES ADDED TO FOOD [ANS], Mortensen, A., Aguilar, F., Crebelli, R., Di Domenico, A., Frutos, M. J., Dusemund, B. (2017). Re-evaluation of locust bean gum (E 410) as a food additive. *Efsa Journal*, 15(1), e04646.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION [FAOSTAT]. (2023). Crops and livestock products. <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>.
- GIOXARI, A., AMERIKANOU, C., NESTORIDI, I., GOURGARI, E., PRATSINIS, H., KALOGEROPOULOS, N., KALIORA, A.C. (2022). Carob: A sustainable opportunity for metabolic health. *Foods*, 11(14), 2154.
- HABER, B. (2002). Carob fiber benefits and applications. *Cereal Foods World*, 47(8), 365.
- ISTITUTO DI SERVIZI PER IL MERCATO AGRICOLO ALIMENTARE [ISMEA]. (2023). Frutta in Guscio – Ultime dal settore. <<https://www.ismeamercati.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/12675>>.
- ISTITUTO NAZIONALE DI STATISTICA [ISTAT]. (2023). Coltivazioni e allevamenti. <http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DCSP_COLTIVAZIONI#>.

- LA MALFA, S., AVOLA, C., BRUGALETTA, M., LA ROSA, G., MURATORE, G. (2010). Morphological and technological characterization of different carob cultivars in Sicily. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People* (pp. 207-212).
- LA MALFA S., LA ROSA G., 2006. Ibla: una nuova selezione di carrubo. *Frutticoltura*, 3, 74-77.
- LANFRANCHI, M., ZIRILLI, A., ALFANO, S., SPIRIDIONE, F.S., ALIBRANDI, A., GIANNETTO, C. (2019). The Carob as a Substitute for Cocoa in the Production of Chocolate: Sensory Analysis with Bivariate Association. *Calitatea*, 20(168), 148-153.
- LOULLIS, A., PINAKOULAKI, E. (2018). Carob as cocoa substitute: a review on composition, health benefits and food applications. *European Food Research and Technology*, 244, 959-977.
- MINISTERO DELL'AGRICOLTURA, DELLA SOVRANITÀ ALIMENTARE E DELLE FORESTE [MASAF]. (2012). Piano del settore Mandorle, Noci, Pistacchi e Carrube 2012-2014, Allegato tecnico, Ministero Politiche Agricole, Conferenza Stato Regioni 22-11-2012, Repertorio Atti n.: 219/CSR del 22/11/2012.
- MUSA ÖZCAN, M., ARSLAN, D., GÖKÇALIK, H. (2007). Some compositional properties and mineral contents of carob (*Ceratonia siliqua*) fruit, flour and syrup. *International journal of food sciences and nutrition*, 58(8), 652-658.
- NASRALLAH, K., KHALED, S., EL KHATIB, S., KRAYEM, M. (2023). Nutritional, biochemical and health properties of Locust beans and its applications in the food industry: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 1-10.
- RAMÓN-LACA, L., MABBERLEY, D.J. (2004). The ecological status of the carob-tree (*Ceratonia siliqua*, Leguminosae) in the Mediterranean. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 144(4), 431-436.
- ROSA, C.S., TESSELE, K., PRESTES, R.C., SILVEIRA, M., FRANCO, F. (2015). Effect of substituting of cocoa powder for carob flour in cakes made with soy and banana flours. *International Food Research Journal*, 22(5), 2111-2118.
- ŞAHİN, H., TOPUZ, A., PISCHETSRIEDER, M., ÖZDEMİR, F. (2009). Effect of roasting process on phenolic, antioxidant and browning properties of carob powder. *European Food Research and Technology*, 230, 155-161.
- SAITTA, F., APOSTOLIDOU, A., PAPAGEORGIOU, M., SIGNORELLI, M., MANDALA, I., FESSAS, D. (2023). Influence of carob flour ingredients on wheat-based systems. *Journal of Cereal Science*, 111, 103655.
- SINGH, A.K., MALVIYA, R., RAO, G.S.N.K. (2022). Locust Bean Gum: Processing, Properties and Food Applications. *Recent Advances in Food Nutrition & Agriculture*, 13(2), 93-102.

- TESTA, M., MALANDRINO, O., SANTINI, C., SUPINO, S. (2023). Nutraceutical and functional value of carob-based products The LBG Sicilia Srl Case Study. In *Case Studies on the Business of Nutraceuticals, Functional and Super Foods* (pp. 107-120). Woodhead Publishing.
- TOUS, J., ROMERO, A., BATLLE, I. (2013). The Carob tree: Botany, horticulture, and genetic resources. *Horticultural Reviews*, 41, 385-456.
- VALERO-MUÑOZ, M., BALLESTEROS, S., RUIZ-ROSO, B., PÉREZ-OLLEROS, L., MARTÍN-FERNÁNDEZ, B., LAHERA, V., DE LAS HERAS, N. (2019). Supplementation with an insoluble fiber obtained from carob pod (*Ceratonia siliqua* L.) rich in polyphenols prevents dyslipidemia in rabbits through SIRT1/PGC-1 α pathway. *European journal of nutrition*, 58, 357-366.
- VALERO-MUÑOZ, M., MARTÍN-FERNÁNDEZ, B., BALLESTEROS, S., LAHERA, V., DE LAS HERAS, N. (2014). Carob pod insoluble fiber exerts anti-atherosclerotic effects in rabbits through sirtuin-1 and peroxisome proliferator-activated receptor- γ coactivator-1 α . *The Journal of nutrition*, 144(9), 1378-1384.
- ZHU, B.J., ZAYED, M.Z., ZHU, H.X., ZHAO, J., LI, S.P. (2019). Functional polysaccharides of carob fruit: a review. *Chinese medicine*, 14(1), 40.

An empirical analysis of consumers to understand the importance of labelling and traceability in extra virgin olive oil

Francesco Pacchera

University of Tuscia

Mariagrazia Provenzano

University of Tuscia

Cecilia Silvestri

University of Tuscia

Alessandro Ruggieri

University of Tuscia

Abstract

In the Mediterranean, olive oil is one of the leading agricultural products. Italy is one of the central olive oil exporting countries globally. Quality is a strategic lever to compete in a significant and varied market. The quality of olive oil is driven by the consumer, who pushes companies to produce quality and certified products. At the purchasing stage, the consumer considers different aspects and characteristics of the product compared to others, such as the information on its composition (on the label or communicated by the producer), the presence or absence of compounds based on nutritional needs, the specificity of the production process and the characteristics of the raw materials. This study aims to understand the importance the consumer attaches to labels, identify which information is considered most relevant, and investigate the consumer's level of knowledge about digital technologies used for traceability. The work uses statistical analysis of information from a sample of consumers collected through a questionnaire.

KEYWORDS: agri-food, evo oil, consumer, label, digital tools, traceability.

1 Introduction

Olive oil is a crucial element in the Italian economy (ISMEA, 2021), and consumer purchasing choices play a crucial role in encouraging businesses to produce high-quality products. Oil quality has become a strategic lever to compete effectively in the oil market. The goal is to achieve high quality standards by optimizing products and production processes (Visioli et al., 2020). This quality is based on research, innovation and technological development. It is achieved through proper management and

strict control of all activities related to producing goods and services, whether technical, commercial, or administrative (Servili et al., 2021). An essential consequence is that quality can vary and be defined according to customers' expectations at a given time. However, consumers are often influenced by the offers of olive products on the market, which can generate overly broad expectations that do not always correspond to the actual characteristics of the product (Marcucci et al., 2021). Olive oil has many characteristics and attributes that are not always easy to identify and measure accurately. Consumers sometimes lack the explicit knowledge needed to make an informed choice at purchase but often rely on preexisting knowledge about the product (Valli et al., 2014). Focusing on extra virgin olive oil, (EVO) it is evident that this product has several characteristics and attributes that require precise identification and quantification. These factors are crucial to assessing the quality of EVO oil and include total quantity, type, and the presence of specific nutrients that influence the consumer's purchase decision (Predieri et al., 2013). During this stage, consumers appreciate particular aspects and characteristics of the product over others, such as the information on labels or provided by the producer, the presence or absence of compounds that meet nutritional needs, the peculiarities of the production process, and the characteristics of the raw materials used (Zamuz et al., 2020). Consumers need to decipher the information presented on olive oil labels to make informed decisions.

The importance of labels and label information cannot be underestimated regarding EVO oil (Sayadi et al., 2017). Taste, aroma, and quality characteristics vary greatly depending on the origin, production process, and variety of olives used. Labels are the crucial reference point for understanding what you are buying.

The label of EVO oil is a valuable communication tool between the producer and the consumer (Polenzani et al., 2020). The label's information provides details about the origin and production process and often indicates the intrinsic quality of the oil itself (Annunziata & Aprile, 2006). The label of a product represents a crucial aspect that affects consumer perception. A well-made label provides precise and reliable information regarding product origin, production, and distribution, thus increasing credibility and consumer confidence (Mellens et al., 1996). The ability to trace the origin of a product can positively increase brand value (Yin et al., 2017). Accessing and verifying all product information increases transparency and strengthens consumer trust in the brand (Garau & Treiblmaier, 2021). Through traceability, details about the sustainability and quality aspects of the product can be conveyed (Burnier et al., 2021). Traceability can also be a distinctive brand element, making the product more competitive in the marketplace. It also strengthens the link between

the brand and the consumer: knowing the product's origins gives the consumer a sense of belonging (Van Rijswijk & Frewer, 2008).

In the literature, several studies investigate the importance of several aspects related to EVO oil labels, such as information on quality (Savelli et al., 2021), provenance (Perito et al., 2019) or nutritional information (De Gennaro et al., 2021), but no study systematizes the various items of information and considers which are considered most relevant as well as which digital information tools are most known and appreciated.

This study aims to understand the importance consumers attach to labels, identify what information is most relevant, and investigate the consumer's level of knowledge about digital technologies used for traceability.

Therefore, the study aims to answer the following research questions:

RQ1 What information on the label most conditions consumers' purchase of extra virgin olive oil (EVO)?

RQ2 Which digital technologies used for extra virgin olive oil traceability are most familiar to consumers (EVO)?

The contribution is structured as follows. Section 2 defines the methodology used; in section 3, the results and discussion. Finally, section 4 includes the conclusions and implications for further research.

2 Methodology

The questionnaire used for the survey investigates consumer perceptions of traceability, quality, label information and digital tools. The data collection took place using Google Forms and was carried out in April and May 2021 (Brito et al., 2021; Majeed et al., 2022; Sarfraz et al., 2021). In order to overcome the criticality of sample identification, non-probabilistic sampling was adopted. In particular, accidental sampling was used, a method frequently used in market research (Bracalente et al., 2009). The questionnaire analyzed the following two sections:

- *Consumer's analysis*: containing information about consumers' perception concerning traceability, quality, label information and use of digital tools.
- *Consumer profile*: containing information on socio-demographic features.

The Likert scale is utilized to gauge consumer opinions, with respondents providing scores that range from “strongly disagree” (scored as 1) to “strongly agree” (scored as 6), as initially proposed by Likert in 1932. The survey data was gathered from 457 participants and then processed using the statistical software “STATA 12 Data Analysis and Statistical Software” available at www.stata.com. The sample consisted of 263 females and

194 males. To the age of the consumers interviewed, 26% were aged 26-33 years, 20% were aged 50-57 years, 16% were aged 18-25 years, 16% were over 58 years, 12% were aged 34-41 years and 10% were aged 42-49 years. Descriptive and multivariate analyses were performed to answer the research questions. Factor analysis helps to understand what information on the label influences the consumer to purchase EVO oil.

3 Results and Discussion

RQ1 What information on the label most conditions consumers' purchase of extra virgin olive oil (EVO)?

Factor Analysis (FA) is used in market research, especially in consumer surveys with varied opinions regarding product attributes or behavioural perceptions. In this study context, FA makes it possible to examine consumer behaviour, providing valuable data for hypotheses to be tested (Bracalente et al., 2009). FA was performed to address the problems associated with the presence of multicollinearity.

Table 1 shows the descriptive analysis of the surveyed variables.

Items	Name Δ	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Polyphenol content	var6	457	4.81	1.28	1	6
Extraction method	var7	457	4.63	1.38	1	6
Harvesting and production method	var8	457	4.66	1.38	1	6
country of origin	var9	457	4.77	1.32	1	6
Olive Variety	var10	457	5.29	1.14	1	6
Country of transformation	var11	457	5.16	1.18	1	6
Site QRCode	var12	457	4.77	1.38	1	6
Recipe info	var13	457	5.02	1.33	1	6
Info sensory characteristics	var14	457	5.00	1.35	1	6
Certifying body	var15	457	4.31	1.46	1	6
Traceability info QRCode	var16	457	3.40	1.58	1	6
Presence of controls	var17	457	4.46	1.40	1	6

Table 1 – Descriptive statistic

Source: our elaboration

Table 1 shows how the items “olive variety” (mean 5.29) and “country of transformation” (mean 5.16) are the most influential items. These items are related to the product’s origin and indicate how it is an essential element in consumer choice. In contrast, the item “Traceability info QR code” (mean 3.40) is less influential. This suggests investing in these aspects to make consumers more aware.

The correlation study was used to check whether the observed variables contained redundancies that might confuse or make the statistical analysis results insignificant.

	var6	var7	var8	var9	var10	var11	var12	var13	var14	var15	var16	var17
var6	1											
var7	0.459	1.000										
var8	0.513	0.690	1.000									
var9	0.504	0.649	0.715	1.000								
var10	0.578	0.612	0.640	0.735	1.000							
var11	0.580	0.583	0.618	0.679	0.890	1.000						
var12	0.491	0.493	0.511	0.535	0.649	0.647	1.000					
var13	0.540	0.491	0.563	0.560	0.661	0.634	0.708	1.000				
var14	0.521	0.512	0.526	0.522	0.571	0.525	0.536	0.573	1.000			
var15	0.455	0.410	0.401	0.398	0.387	0.400	0.431	0.411	0.574	1.000		
var16	0.296	0.265	0.178	0.187	0.215	0.197	0.361	0.288	0.305	0.515	1.000	
var17	0.490	0.456	0.483	0.575	0.506	0.475	0.467	0.432	0.526	0.466	0.461	1.000

Table 2 – Correlation matrix

Source: our elaboration

Correlation coefficients measure the presence (and, in more detail, the intensity and sign) of a linear link between two quantitative variables. The values reported in Table 2 show a strong link between the variables under study, particularly those related to the extraction method, country of origin of olives, country of olive processing, and presence of voluntary controls. Even if the linear link between some variables is not high, it is still considered appropriate to proceed with the component analysis of all variables.

Each linear combination is a function of all the original variables but

correlates specifically with some. The components, on the other hand, are uncorrelated and thus contribute differential information content. The actual input of the technique is the correlation matrix between the variables: the stronger this correlation is on average, the greater the synthesis ability of the factor analysis. Therefore, the presence of correlation between the different observed variables is the starting point of a market segmentation analysis conducted using a classical approach. In fact, as part of a process of segmentation by homogeneity, the first stage, characterized by conducting factor analysis, aims to identify the fundamental dimensions of a phenomenon described by a set of p observed quantitative variables. After analyzing the correlation matrix, through the principal components method, it was possible to select a small number of “new variables” (factors), $q < p$, which represents, therefore, the new variables for the representation of the phenomenon under study, obtained with the minor information loss of the original information assets.

However, before proceeding to factor analysis, Cronbach α was used to test internal consistency among the *items* (Namukasa, 2013). Hair et al., (2006) suggested that the value the Cronbach α coefficient must have to affirm each construct’s reliability, thus testing for good internal consistency, is >0.6 . The values shown in Table 3 confirm the existence of good internal consistency.

Item	Obs	Sign	alpha
var6	457	+	0.914
var7	457	+	0.913
var8	457	+	0.912
var9	457	+	0.911
var10	457	+	0.910
var11	457	+	0.910
var12	457	+	0.912
var13	457	+	0.912
var14	457	+	0.912
var15	457	+	0.917
var16	457	+	0.927
var17	457	+	0.914
Test scales			0.920

Table 3 – Cronbach α test

Source: our elaboration

To synthesize the information contained in the variables into factors, factor analysis (FA) was used.

Table 4 shows the FA for the variables related to the information on the label.

Factor	Variance	Difference	Proportion	Cumulative
Factor1	2.465	0.359	0.345	0.345
Factor2	2.106	0.234	0.295	0.641
Factor3	1.872	0.828	0.262	0.903
Factor4	1.044	0.832	0.146	1.049
Factor5	0.212	0.146	0.030	1.079
Factor6	0.066	.	0.009	1.088

Table 4 – Factor Analyses

Source: our elaboration on the data set. Notes: Number of obs = 457;
Retained factors = 6; Number of params = 57

The first four factors were taken based on the criterion of eigenvalue > 1.

The saturation matrix was used to understand which factors synthesize the variables.

Table 5 shows that Factor 1 summarizes aspects concerning technical and nutritional information (e.g., polyphenol content, extraction method, harvesting and production method). Factor 2 summarizes the variables regarding information on provenance (e.g., country of origin, olive variety, country of processing). Factor 3 summarizes the variables regarding sensory information (e.g., recipe information, sensory characteristics). Finally, factor 4 summarizes variables regarding safety information (such as certification bodies, QR codes for traceability, and the presence of controls).

New variables	Items	Var.	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Uniqueness
Technical and nutritional information FA1	Polyphenol content	var7	0.652				0.390
	Extraction method	var8	0.713				0.305
	Collection and production methods	var16	0.670				0.528

Information on origin FA2	Country of origin	var9		0.687		0.264
	Olive varieties	var6		0.380		0.510
	Country of transformation	var10		0.739		0.125
Sensory information FA3	QR Code site	var14			0.438	0.409
	Recipe info	var15			0.637	0.443
	Sensory characteristics info	var17			0.544	0.437
Security information FA4	Certifying authority	var12				0.528 0.341
	QR Code traceability info	var13				0.560 0.328
	Presence of controls	var11				0.752 0.156

Table 5 – Saturation matrix (factor loadings)

Source: our elaboration on the data set

The analysis shows that the main factors, in terms of label information, considered essential by consumers are:

- Technical and nutritional information - FA1
- Information on origin – FA2
- Sensory information – FA3
- Security information – FA4

Technical and nutritional information – FA1

Nutritional information helps people balance their diet and meet their daily nutritional needs (Brug et al., 1996). Technical and nutritional information should be presented clearly and understandably (Gomez et al., 2017). Easy-to-understand labels help consumers compare products and make informed choices (Schapira et al., 1990). Detailed information encourages consumers to be responsible. Informed consumers are more likely to make informed food choices that benefit their health and the environment (Boase et al., 2019). Technical and nutritional information is critical in guiding consumers toward a balanced diet and healthy lifestyle (Hieke & Newman, 2015). This information enables consumers to make rational food choices and prompts companies to produce healthier foods (Sempi-

onatto et al., 2021). Therefore, promoting transparency in technical and nutritional information is essential for consumer well-being.

Information on origin – FA2

Product origin information is a central consumer issue in a globalized world with large-scale production. Information about a product's origin affects quality and safety (Loureiro & Umberger, 2007). Information on product origin provides transparency and authenticity (Youn & Kim, 2017). Such information helps consumers assess authenticity. An additional aspect relates to food safety and knowledge of product origin (Tootelian & Segale, 2004). Consumers can make safe choices based on the origin of products, such as avoiding products from areas with less stringent regulations. This information promotes consumer confidence and helps consumers make informed and responsible purchasing decisions.

Sensory information – FA3

Sensory information influences the consumer's shopping experience by contributing to consumer satisfaction with the product (Kauppinen-Räsänen et al., 2020). Sensory information regarding a product's taste, smell, and texture provides buyers an experience beyond mere consumption. Attention to sensory information is vital for increasing consumer trust and establishing loyalty (Andersen et al., 2017). Understanding sensory information helps consumers make choices that align with their preferences and expectations (Dipayan Biswas et al., 2014). Investing in this direction allows the company to consolidate its brand and create long-term consumer relationships (Heinonen, 2018). Therefore, sensory information is essential to meet consumer expectations and create a positive consumer experience (Kauppinen-Räsänen et al., 2020).

Security information – FA4

Product safety is a primary concern for consumers, and the presence of transparent and complete safety information plays a crucial role in purchasing decisions (Chalak & Abiad, 2012). Knowing information about a product's safety helps consumers avoid products that may be risky to their health (Rosati & Saba, 2004). Providing detailed safety information enhances the company's image to consumers (Curlo, 1999). This increases the company's and the consumer's relationship by building loyalty (Tobin et al., 2012). Thus, product safety information is critical to protect consumers and educate them about responsible product use. Investing in this information allows companies to consolidate their image in the market and helps create a safe and reliable consumer environment.

RQ2 Which digital technologies used for extra virgin olive oil (EVO) traceability are most familiar to consumers?

Companies are addressing the issue of food safety and the origin of agri-food products by introducing traceability systems that provide valuable data to consumers. According to some scholars, traceability involves the ability to access complete or partial information about an item throughout its life cycle by identifying recorded processes (Guido et al., 2020; Schwägele, 2005). This process allows agri-food products to be tracked throughout the production chain, providing transparency and answering consumer questions (Debajyoti Biswas et al., 2023; Carzedda et al., 2021; Gupta et al., 2023). Transparency not only meets the needs of companies by improving production efficiency but also aims to communicate product quality to consumers (Corallo et al., 2021).

Currently, traceability of agri-food products is done through traditional labels and modern digital technologies. The latter makes it possible to track products and places of production, increasing consumer satisfaction regarding quality, origin, sustainability, and authenticity (Ben-Ayed et al., 2013). The most widely used technologies include Radio Frequency Identification (RFID), Near Field Communication (NFC), QR Code, and batch (Dipayan Biswas et al., 2014; Guido et al., 2020). Figure 1 highlights the most critical technologies for traceability, among which Barcodes, Mobile apps, Websites, and QR codes appear to be the most well-known and appreciated by consumers. These digital technologies reassure consumers by providing additional information to the label, which is no longer sufficient to guarantee product quality and safety in a market where consumers are increasingly demanding (Guido et al., 2020).

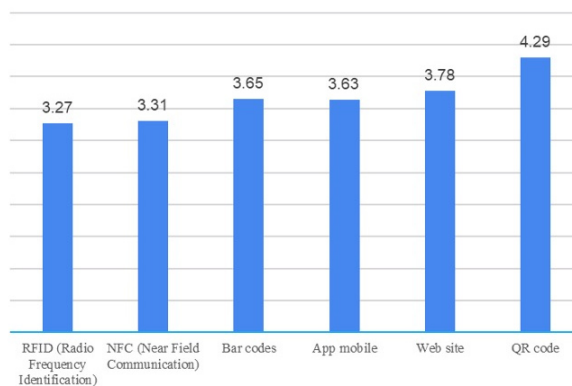


Figure 1 – Importance of technologies for the traceability of EVO oil
Source: our elaboration

4 Conclusions

The study aims to analyze the importance that consumers attach to labels, identify what information is considered most relevant, and investigate the level of consumer knowledge about digital technologies used for traceability. To do this, the study used different statistical analyses that show that technical and nutritional information, origin information, sensory information, and safety information are the most relevant information for consumers. The work also highlights the importance and knowledge of digital technologies as a vehicle for information. It shows how Barcodes, Apps, Websites and QR codes are the most critical technologies for traceability. At the managerial level, the study implies the possibility of investing more in information considered relevant to consumers to strengthen the existing relationship between business and consumer and increase satisfaction. It also suggests companies in which digital technologies invest to make consumers more informed and closer to the product and increase consumer trust in shared information to overcome information asymmetry. At the research level, the study suggests further investigation of digital technologies used to share product information, focusing on consumer perceptions and how their use can increase product purchase awareness.

At the policy level, the study suggests information on which to target companies and the market by incentivizing the use of digital technologies to have more transparent information. It also suggests educating consumers in label reading and shared information to understand its meaning better. Future research steps are directed toward understanding how this critical information affects the purchase of products and what business strategies to adopt to retain customers.

However, there are some limitations to the study. The limitations concern the number of participants in the study, which is limited, and a further limitation is the method of participant selection (not accidentally probabilistic).

References

- ANDERSEN, B.V, MIELBY, L.H., VIEMOSE, I., BREDIE, W.L.P., HYLDIG, G. (2017). Integration of the sensory experience and post-ingestive measures for understanding food satisfaction. A case study on sucrose replacement by Stevia rebaudiana and addition of beta glucan in fruit drinks. *Food Quality and Preference*, 58, 76-84.
- ANNUNZIATA, A., APRILE, M.C. (2006). Informazione, etichettatura e comportamento del consumatore: un'analisi sull'uso delle etichette alimentari. *Informazione, Etichettatura e Comportamento Del Consumatore*, 1000-1019.
- BEN-AYED, R., KAMOUN-GRATI, N., REBAI, A. (2013). An overview of the authentication of olive tree and oil. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(2), 218-227.
- BISWAS, DEBAJYOTI, JALALI, H., ANSARIPOOR, A.H., DE GIOVANNI, P. (2023). Traceability vs. sustainability in supply chains: The implications of blockchain. *European Journal of Operational Research*, 305(1), 128-147.
- BISWAS, DIPAYAN, LABRECQUE, L.I., LEHMANN, D.R., MARKOS, E. (2014). Making choices while smelling, tasting, and listening: the role of sensory (Dis) similarity when sequentially sampling products. *Journal of Marketing*, 78(1), 112-126.
- BOASE, N.J., WHITE, M.P., GAZE, W.H., REDSHAW, C.H. (2019). Why don't the British eat locally harvested shellfish? The role of misconceptions and knowledge gaps. *Appetite*, 143, 104352.
- BRACALENTE, B., COSSIGNANI, M., MULAS, A. (2009). *Statistica Aziendale* (McGraw-Hil).
- BRITO, K.D.S., FILHO, R.L.C.S., ADEODATO, P.J.L. (2021). A Systematic Review of Predicting Elections Based on Social Media Data: Research Challenges and Future Directions. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 8(4), 819-843. <https://doi.org/10.1109/TCSS.2021.3063660>.
- BRUG, J., STEENHUIS, I., VAN ASSEMA, P., DE VRIES, H. (1996). The impact of a computer-tailored nutrition intervention. *Preventive Medicine*, 25(3), 236-242.
- BURNIER, P.C., SPERS, E.E., DE BARCELLOS, M.D. (2021). Role of sustainability attributes and occasion matters in determining consumers' beef choice. *Food Quality and Preference*, 88, 104075.
- CARZEDDA, M., GALLENTI, G., TROIANO, S., COSMINA, M., MARANGON, F., DE LUCA, P., PEGAN, G., NASSIVERA, F. (2021). Consumer preferences for origin and organic attributes of extra virgin olive oil: A choice experiment in the Italian market. *Foods*, 10(5), 994.

- CHALAK, A., ABIAD, M. (2012). How effective is information provision in shaping food safety related purchasing decisions? Evidence from a choice experiment in Lebanon. *Food Quality and Preference*, 26(1), 81-92.
- CORALLO, A., LATINO, M.E., MENEGOLI, M., PIZZI, R. (2021). Assuring effectiveness in consumer-oriented traceability; suggestions for food label design. *Agronomy*, 11(4), 613.
- CURLO, E. (1999). Marketing strategy, product safety, and ethical factors in consumer choice. *Journal of Business Ethics*, 21, 37-48.
- DE GENNARO, B.C., ROSELLI, L., BIMBO, F., CARLUCCI, D., CAVALLO, C., CICIA, G., DEL GIUDICE, T., LOMBARDI, A., PAPARELLA, A., VECCHIO, R. (2021). Do Italian consumers value health claims on extra-virgin olive oil? *Journal of Functional Foods*, 81(May 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104461>.
- GARAUS, M., TREIBLMAIER, H. (2021). The influence of blockchain-based food traceability on retailer choice: The mediating role of trust. *Food Control*, 129, 108082.
- GOMEZ, P., WERLE, C.O.C., CORNEILLE, O. (2017). The pitfall of nutrition facts label fluency: easier-to-process nutrition information enhances purchase intentions for unhealthy food products. *Marketing Letters*, 28, 15-27.
- GUIDO, R., MIRABELLI, G., PALERMO, E., SOLINA, V. (2020). A framework for food traceability: case study–Italian extra-virgin olive oil supply chain. *International Journal of Industrial Engineering & Management (IJIEM)*, 11(1).
- GUPTA, N., SONI, G., MITTAL, S., MUKHERJEE, I., RAMTIYAL, B., KUMAR, D. (2023). Evaluating Traceability Technology Adoption in Food Supply Chain: A Game Theoretic Approach. *Sustainability*, 15(2), 898.
- HAIR, J., BLACK, W.C., BABIN, B.J., ANDERSON, R.E., TATHAM, R. (2006). *Multivariate data analysis*. (Pearson Ed).
- HEINONEN, K. (2018). Positive and negative valence influencing consumer engagement. *Journal of Service Theory and Practice*, 28(2), 147-169.
- HIEKE, S., NEWMAN, C.L. (2015). The effects of nutrition label comparison baselines on consumers' food choices. *Journal of Consumer Affairs*, 49(3), 613-626.
- ISMEA. (2021). *Scheda di settore: Olio di oliva*.
- KAUPPINEN-RÄISÄNEN, H., MÜHLBACHER, H., TAISHOFF, M. (2020). Exploring consumers' subjective shopping experiences in directly operated luxury brand stores. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 57, 102251.

- LOUREIRO, M.L., UMBERGER, W.J. (2007). A choice experiment model for beef: What US consumer responses tell us about relative preferences for food safety, country-of-origin labeling and traceability. *Food Policy*, 32(4), 496-514.
- MAJEED, A., AHMED, I., RASHEED, A. (2022). Investigating influencing factors on consumers' choice behavior and their environmental concerns while purchasing green products in Pakistan. *Journal of Environmental Planning and Management*, 65(6), 1110-1134. <https://doi.org/10.1080/09640568.2021.1922995>.
- MARCUCCI, E., GATTA, V., LE PIRA, M., CHAO, T., LI, S. (2021). Bricks or clicks? Consumer channel choice and its transport and environmental implications for the grocery market in Norway. *Cities*, 110, 103046.
- MELLENS, M., DEKIMPE, M., STEENKAMP, J. (1996). A review of brand-loyalty measures in marketing. *Tijdschrift Voor Economie En Management*, 4, 507-533.
- NAMUKASA, J. (2013). The influence of airline service quality on passenger satisfaction and loyalty. *The TQM Journal*, 25(5), 520-532. <https://doi.org/10.1108/TQM-11-2012-0092>.
- PERITO, M.A., SACCHETTI, G., DI MATTIA, C.D., CHIODO, E., PITTIA, P., SAGUY, I.S., COHEN, E. (2019). Buy Local! Familiarity and Preferences for Extra Virgin Olive Oil of Italian Consumers. *Journal of Food Products Marketing*, 25(4), 462-477. <https://doi.org/10.1080/10454446.2019.1582395>.
- POLENZANI, B., RIGANELLI, C., MARCHINI, A. (2020). Sustainability perception of local extra virgin olive oil and consumers' attitude: A new Italian perspective. *Sustainability*, 12(3), 920.
- PREDIERI, S., MEDORO, C., MAGLI, M., GATTI, E., ROTONDI, A. (2013). Virgin olive oil sensory properties: Comparing trained panel evaluation and consumer preferences. *Food Research International*, 54(2), 2091-2094.
- ROSATI, S., SABA, A. (2004). The perception of risks associated with food-related hazards and the perceived reliability of sources of information. *International Journal of Food Science & Technology*, 39(5), 491-500.
- SARFRAZ, M., IVASCU, L., BELU, R., ARTENE, A. (2021). Accentuating the interconnection between business sustainability and organizational performance in the context of the circular economy: The moderating role of organizational competitiveness. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 2108-2118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bse.2735>.
- SAVELLI, E., BRAVI, L., FRANCONI, B., MURMURA, F., PENCARELLI, T. (2021). PDO labels and food preferences: results from a sensory analysis. *British Food Journal*, 123(3), 1170-1189. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2020-0435>.

- SAYADI, S., ERRAACH, Y., PARRA-LÓPEZ, C. (2017). Translating consumer's olive-oil quality-attribute requirements into optimal olive-growing practices: A quality function deployment (QFD) approach. *British Food Journal*, 119(1), 190-214.
- SCHAPIRA, D.V., KUMAR, N.B., LYMAN, G.H., McMILLAN, S.C. (1990). The value of current nutrition information. *Preventive Medicine*, 19(1), 45-53.
- SCHWÄGELE, F. (2005). Traceability from a European perspective. *Meat Science*, 71(1), 164-173.
- SEMPIONATTO, J.R., MONTIEL, V.R.-V., VARGAS, E., TEYMOURIAN, H., WANG, J. (2021). Wearable and mobile sensors for personalized nutrition. *ACS Sensors*, 6(5), 1745-1760.
- SERVILI, M., ESPOSITO, S., SELVAGGINI, R., TATICCHI, A., FANTOZZI, P. (2021). Qualità dell'olio extravergine di oliva e innovazione di processo. *Qualità Dell'olio Extravergine Di Oliva e Innovazione Di Processo*, 239-253.
- TOBIN, D., THOMSON, J., LABORDE, L. (2012). Consumer perceptions of produce safety: A study of Pennsylvania. *Food Control*, 26(2), 305-312.
- TOOTELIAN, D.H., SEGALE, J. (2004). The importance of place of origin in purchase decisions for agricultural products. *Journal of Food Products Marketing*, 10(3), 27-43.
- VALLI, E., BENDINI, A., POPP, M., BONGARTZ, A. (2014). Sensory analysis and consumer acceptance of 140 high-quality extra virgin olive oils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(10), 2124-2132.
- VAN RIJSWIJK, W., FREWER, L.J. (2008). Consumer perceptions of food quality and safety and their relation to traceability. *British Food Journal*, 110(10), 1034-1046.
- VISIOLI, F., DAVALOS, A., LÓPEZ DE LAS HAZAS, M., CRESPO, M.C., TOMÉ-CARNEIRO, J. (2020). An overview of the pharmacology of olive oil and its active ingredients. *British Journal of Pharmacology*, 177(6), 1316-1330.
- YIN, S., LI, Y., XU, Y., CHEN, M., WANG, Y. (2017). Consumer preference and willingness to pay for the traceability information attribute of infant milk formula: Evidence from a choice experiment in China. *British Food Journal*, 119(6), 1276-1288.
- YOUN, H., KIM, J.-H. (2017). Effects of ingredients, names and stories about food origins on perceived authenticity and purchase intentions. *International Journal of Hospitality Management*, 63, 11-21.
- ZAMUZ, S., PURRIÑOS, L., TOMASEVIC, I., DOMÍNGUEZ, R., BRNČIĆ, M., J. BARBA, F., LORENZO, J.M. (2020). Consumer acceptance and quality parameters of the commercial olive oils manufactured with cultivars grown in Galicia (NW Spain). *Foods*, 9(4), 427.

A theoretical eco-design framework toward the european battery regulation

Mattia Gianvincenzi
Università degli Studi della Tuscia
Marco Marconi
Università degli Studi della Tuscia
Enrico Maria Mosconi
Università degli Studi della Tuscia
Francesco Tola
Università degli Studi della Tuscia
Mariarita Tarantino
Università degli Studi della Tuscia
Alessio Maticera
Università degli Studi della Tuscia

ABSTRACT

Batteries are instrumental in advancing the green industrial revolution, powering various sectors such as energy, transport, and electronics. Recognizing their strategic importance, the European Commission has established a comprehensive regulation aimed at creating a sustainable internal market while also addressing critical challenges across the battery life cycle. This study introduces a dedicated theoretical framework for eco-design, tailored to meet the requirements of the European Battery Regulations. The framework incorporates existing methodologies, enabling battery manufacturers to make responsible and compliant choices throughout the value chain. By integrating eco-design principles, manufacturers can address issues related to critical raw materials, reduce the carbon footprint in manufacturing, and improve recycling and end-of-life practices.

This theoretical framework empowers manufacturers to navigate the stringent demands of the European Battery Regulations, ensuring the formation of a sustainable internal market while effectively resolving life cycle challenges. By adopting this approach, the battery industry can contribute significantly to a greener and more sustainable future, playing a vital role in the global transition to cleaner energy solutions.

KEYWORDS: battery; battery regulation; eco-design; design for sustainability; lifecycle management; theoretical framework.

1 Introduction

The battery is not a recent discovery in technology; however, over time, it has become an indispensable element in our daily lives. This is due

to the incremental improvement in their performance, which has enabled us to have increasingly powerful handheld devices like smartphones. Furthermore, batteries are playing a crucial role in the green energy transition, facilitating the development of electric vehicles with satisfactory power and range capabilities. They have also proven essential for effectively storing energy generated from renewable sources, reducing dependence on the intermittency of natural events. According to estimates, the global battery market is projected to exceed a value of 400 billion dollars and reach a market size of 4.7 TWh by 2030, with 4.2 TWh specifically in the mobility sector (89.36%) and a growing rate higher than 30% per year (Fleischmann et al., 2023). Therefore, stakeholders in the market must adapt to these growing numbers while concurrently addressing the various challenges that arise throughout the battery lifecycle. These challenges encompass environmentally harmful upstream processes, such as resource extraction and manufacturing, which contribute to pollution and resource depletion (Dai et al., 2019). Additionally, downstream challenges encompass inefficient recycling and disposal practices, leading to the suboptimal utilization not only of valuable battery materials and the generation of waste but also the full potential of the battery (Brückner et al., 2020). In fact, an Electric Vehicle (EV) battery is typically deemed at the end of its life when its capacity drops below 80%. Even though it might still be suitable for stationary storage or other applications, it is often destined for disposal (Casals et al., 2019). Recently, Europe has recognized the symbiotic relationship between the potential and challenges within the critical battery industry. In Q3 2023, the Battery Regulation (EU) 2023/1542 was introduced with the aim of establishing a sustainable internal market, regulating, for the first time, the entire product lifecycle from extraction to recycling and extending its influence beyond European borders. The set objectives are rigorous, necessitating not only market adaptation to growing demand but also compliance with European mandates.

One of the most impactful and immediately applicable approach is eco-design, which has the capacity to preemptively address issues throughout the lifecycle during the design phase (Woidasky & Cetinkaya, 2021). However, existing literature has highlighted a deficiency in eco-design frameworks and a complete absence of legislative integration within them. This paper aims to provide a comprehensive theoretical framework for battery eco-design, addressing the lacks identified in scientific literature and harnessing the potential of eco-design to meet the objectives outlined in the Battery Regulation.

Indeed, following this brief introduction, the subsequent two chapters will focus on the literature analysis of eco-design frameworks, highlighting their challenges and proposed solutions, and the analysis of the Battery Regulation and how eco-design can contribute to its fulfillment. The findings have been incorporated into the theoretical framework pre-

sented and discussed in the fourth chapter. Finally, the paper concludes with the summarizing remarks and future developments.

2 Literature Review

Eco-design is a branch of design that incorporates sustainability as a fundamental parameter in product development. One of the most comprehensive definitions comes from Charter and Tischner: “Sustainable solutions refer to products, services, hybrids, or system alterations aimed at minimizing adverse sustainability impacts and maximizing positive effects, encompassing economic, environmental, social, and ethical dimensions, throughout and beyond the life cycle of existing products or solutions, while meeting acceptable societal demands and needs.” (Charter M, 2001).

In the domain of eco-design for batteries, a limited array of frameworks has emerged, primarily due to various compelling reasons. These are the salient challenges:

- Battery System Complexity: The intricate nature of battery systems, involving multiple components and various life cycle stages, presents substantial hurdles in pinpointing and mitigating all environmental impacts effectively (Gebhardt et al., 2022).
- Swift Technological Advancements: The rapid pace of evolution in battery technology necessitates continuous updates to maintain the relevance and accuracy of these frameworks (Mayyas et al., 2019).
- Lack of Metric Consensus: Discord over the metrics and indicators to be employed obstructs the development of standardized frameworks, creating a complex landscape for decision-makers grappling with numerous parameters (Koroma et al., 2022).
- Challenges in Life Cycle Assessment (LCA): Life Cycle Assessment, the cornerstone of eco-design, grapples with challenges such as the absence of standardized manufacturing databases, which can result in inaccurate Life Cycle Inventories and contradictory outcomes. Altering the functional unit (FU) can even reverse comparison results (Dolganova et al., 2020).

Notwithstanding these impediments, the literature has witnessed the emergence of various eco-design frameworks tailored for batteries, broadly categorized into two distinct types: comprehensive and partial frameworks.

Comprehensive Frameworks strive to holistically encompass environmental impacts throughout the entire battery life cycle. These frameworks employ a comprehensive set of indicators, tools, and methodologies to enhance the effectiveness and efficiency of end-of-life processes.

In contrast, Partial Frameworks narrow their focus to specific aspects, phases, or types of environmental impacts. These frameworks typically address isolated issues, such as assembly and disassembly (Pilley et al., 2018; Talens Peiró et al., 2017; Tornow et al., 2015), recycling (Mao et al., 2022), and second-use scenarios (Troussier et al., 2017).

In the first category, Zhang et al. (2020) introduced a systematic framework for eco-designing chemical products, albeit with some uncertainties in problem-solving and a limited ability to delineate the interconnections between the three pillars of sustainability. Conversely, C. Zhang et al. (2020) concentrated on Battery Electric Vehicles (BEVs) by employing a life cycle simulation (LCS) model and parameterized lifecycle inventory (P-LCI) within a highly intricate framework that primarily optimizes design for environmental impacts while sidelining social and economic considerations. In contrast, Zwolinski & Tichkiewitch (2019) developed an agile framework grounded in standardized methods for identifying Critical Project Life Cycle Parameters (CPLCPs), encompassing diverse facets, including economic considerations.

A distinct framework, projected by Sansa et al. (2019) embraced all three pillars of sustainability, incorporating fuzzy Analytic Network Process (ANP)-based multi-criteria decision-making. Their approach commences with constructing product design scenarios and comprehensively analyzing internal and external contexts and stakeholders.

However, it's important to emphasize that none of these existing frameworks address legislative aspects. To rectify this gap, a comprehensive eco-design framework is imperative, considering diverse factors, including a company's capabilities, battery performance, market trends, potential end-of-life scenarios in relation to the application domain, value chain requirements, and legislative constraints. In this current study, the authors aim to surmount these challenges by proposing an encompassing eco-design framework tailored to batteries. This comprehensive approach endeavors to provide guidance to companies seeking to minimize the environmental, economic, and social impacts of their battery products throughout the entire product life cycle.

3 Methodology: Eco-Design for Battery Regulation

The strategic significance of batteries has not escaped the attention of the European Commission, as underscored in the Green Deal Industrial Plan for the Net-Zero Age (COM(2023) 62 Final, 2023). This importance is primarily tied to sustainable development and prevailing industrial trends. Consequently, the regulatory framework governing batteries has undergone

revision, aligning with the multidisciplinary approach outlined in the Circular Economy Action Plan – CEAP (COM (2020) 98 Final, 2020), which constitutes a pivotal component of the European Green Deal (COM(2019) 640 Final, 2019). The Commission has duly acknowledged the necessity for such regulation in order to repeal Directive 2006/66/EC. This step is aimed at fortifying the sustainability of the burgeoning battery value chain for electromobility and amplifying the circular potential of all batteries entering the EU market, positioning the EU as a formidable global player second only to China.

To achieve this, the Battery Regulation (EU)2023/1542, which came into effect on August 17, 2023, draws its legal basis from Article 114 TFEU, focusing on the establishment and operation of the internal market, rather than relying solely on Article 175 concerning environmental protection. This Battery Regulation marks the inaugural initiative under the new CEAP and represents the first Regulation built upon a lifecycle approach. The proposal is grounded on three primary objectives:

- Ensuring the establishment of an internal and sustainable battery market.
- Facilitating the circularity of batteries and their constituent materials.
- Mitigating the environmental and social impacts associated with battery lifecycle management.

The Regulation is set to impose ambitious thresholds across various dimensions in the short, medium, and long terms, encompassing limits on Carbon Footprint, recycling recovery, and efficiency. Additionally, a range of tools will be introduced, ranging from mandatory carbon footprint declarations to digital passports and due diligence requirements within the raw and secondary material supply chain. As previewed in the introductory chapter, Eco-design is poised to play a pivotal role in achieving these objectives. In the Table 1, the key points of the Battery Regulation are outlined, categorized according to the phases of the lifecycle. For practicality, the Use and Collection phases have been merged, and the End of Use phase encompasses refurbishing, remanufacturing, and second life aspects. Each phase is accompanied by one or more Eco-design tools with macro-examples to illustrate how they can contribute to achieving the objectives.

Lifecycle Stage	Regulation Goals	Eco-Design Approach
Extraction	Contribute to responsible sourcing, addressing methods of extraction and processing of raw materials by operators, including those in third countries, to mitigate environmental and social impacts.	Design for Sustainability (DFS) and Design for Recycling (DFR). Implementing a closed-loop supply chain for battery materials, design batteries to favouring recycling and use of secondary raw material reducing extraction activities.
Manufacturing	Hazardous substance restrictions, Carbon Footprint declarations by 2024, battery performance classes by 2026, and maximum CO2 thresholds by 2027. Also, mandate recycled content declarations (e.g., Lithium, Cobalt, Lead, Nickel) by 2027, with increasing recycled material requirements by 2030 and 2035. Ensure removability, replaceability, and safety standards.	Design for Manufacturing and Assembly (DFMA). Reducing the number of battery assembly steps, optimizing design for energy-efficient low-impacts production, and using recycled and non-hazardous materials in battery production.
Use and Collection	Minimum performance and durability requirements, collection targets for portable batteries, 100% EV battery collection by certified operators, alignment with Extended Producer Responsibility (EPR) requirements.	Design for Use Experience (DFUX). Design batteries for long-term use, ensuring they withstand environmental conditions, and creating user-friendly collection systems.
End-of-Use	Criteria and requirements for repurposing and remanufacturing, with a strong emphasis on prioritizing reuse within the waste hierarchy.	Design for Disassembly (DFD) and Design for Second Life (DFSL) to design the battery with modular components that can be easily disassembled and refurbished, such as the battery cells and modules, minimize the use of adhesives and other difficult-to-disassemble materials.
End-of-Life	Increasing recycling efficiency targets for Lead, Lithium, and other battery types by 2025 and 2030. Additionally, set recycling recovery targets for materials like Li, Co, Copper (Cu), Pb, and Ni by 2026 and 2030.	Design for Recycling (DFR) to minimize hazardous and non-recyclable materials, using standardized materials that are easy to separate and recycle during the end-of-life process.

Table 1 – Eco-design support to Battery Regulation

Certainly, it is undeniable that all phases of the lifecycle can be impacted by design that is responsible, thoughtful, and holistic. In the subsequent chapter, the methodology for integrating these tools and considerations through a series of economic and engineering processes will be elucidated.

4 Eco-Design Framework for Battery

In this chapter, the proposed framework is detailed, characterized by its comprehensive nature as it encompasses all phases of the product life cycle, its collaborative approach as it actively involves the entire value chain, and its theoretical foundation, grounded in literature analysis and accumulated knowledge. The framework comprises five macro phases (Figure 1):

1. **Internal Input Collection:** During the initial phase, internal inputs are gathered, forming the foundational elements for battery design. These inputs encompass producer objectives and existing designs.
2. **Stakeholder Engagement Across the Value Chain:** The second phase focuses on identifying stakeholders throughout the entire value chain. These stakeholders play pivotal roles from extraction to recycling. Furthermore, among the stakeholders considered are also policymakers, who, through their legislation, already express their requirements, influencing the eco-design considerations.
3. **Parameter Definition:** During the third phase, technical solutions are identified for meeting the requirements of each stakeholder within the value chain and for addressing each element of the Battery Regulation.
4. **Compatibility Analysis and Solution Formulation:** The fourth phase identifies potential conflicts or synergies among parameters. Based on these insights, multiple design solutions are formulated.
5. **Sustainability Assessment and Comparison:** In the fifth and final phase, a thorough assessment and comparison of design solutions are conducted, encompassing economic, environmental, and social sustainability aspects facilitating informed decision-making in selecting the most suitable battery eco-design solution.

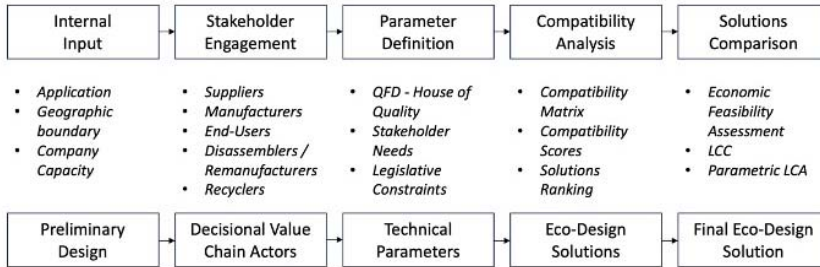


Figure 1 – Eco-Design Framework Flowchart

The first phase involves the collection of internal inputs by the manufacturer, necessary for identifying a preliminary design or an existing design to be used as a design basis for development, along with potential actors within the value chain. Through the versatile use of various filo-economic tools and methodologies, it is possible to systematically collect comprehensive information that helps in understanding market dynamics and aligning the company’s capacity with market demands. These tools encompass Market Segmentation Analysis for identifying specific customer needs, Competitive Landscape Assessment to evaluate market competitors, SWOT Analysis to assess the organization’s readiness, Customer Surveys and Feedback Analysis to gather direct customer insights, Market Trend Analysis to track industry trends, Business Capability Assessment to gauge internal capacities, and Regulatory Environment Analysis to understand the regulatory landscape affecting the industry. These tools collectively provide valuable insights regarding the product’s application, the geographic boundary within which various life cycle stages will occur, and the company’s capacity. Indeed, batteries manifest diverse performance parameters contingent upon their respective application domains. For example, batteries deployed within the realm of smartphones necessitate a pronounced emphasis on achieving high power density. This emphasis stems from the imperative requirement for smartphones to deliver rapid surges of power, particularly during resource-intensive application usage or voice communication. Conversely, batteries utilized in solar-powered outdoor lighting systems require a primary focus on attaining elevated energy density. This focus arises from the necessity to efficiently store and discharge energy, thereby enabling sustained and extended illumination, notably during nighttime hours. Furthermore, depending on the geographic boundary, laws, resources, and infrastructures will differ. Lastly, based on company capacities, production processes, the extent of internalization and externalization, and market objectives will fluctuate.

Building upon this information and the definition of a preliminary design, the second step concerns the identification of various actors within the value chain (suppliers, manufacturers, end-users, disassemblers, remanufacturers, and recyclers) operating within the geographic boundary and capable of successfully fulfilling all life cycle stages of the battery based on the preliminary design. These actors must be willing to actively participate in the third step, which involves the identification of technical parameters.

In this phase, the tool deemed most suitable for ensuring flexibility and accuracy is the Quality Function Deployment, using a revised agile House of Quality (HOQ) for each life cycle stage. The term “revised” is used because, instead of clients’ needs in the strictest sense, the needs of various identified actors, broadly considered as users of the product, including policymakers with their legislation, have been incorporated. Each actor rates each need from 1 (not relevant) to 5 (indispensable). Regarding legislative elements included among the needs, they are weighted based on the active involvement of the battery to be produced and receive a weight of 5 if such regulation is in force and influences the battery, 3 if the regulation will come into effect before the end of the battery’s productive life, and 1 if the regulation does not affect the battery or will come into effect after the battery’s expected lifetime. The term “agile” is used because each HOQ is simplified, as shown in Figure 2, focusing on the aspects described above in the rows and technical solutions in the columns. The roof evaluates the compatibility level between various technical solutions. In the center, the degree of relationship between the technical solution and the value chain’s needs is assessed, with values ranging from 0, where the solution does not contribute to fulfilling a need, to 9, where the solution completely resolves the issue. At the bottom, the results of each technical solution are evaluated through the product of the relationship degree and the weight of each need.

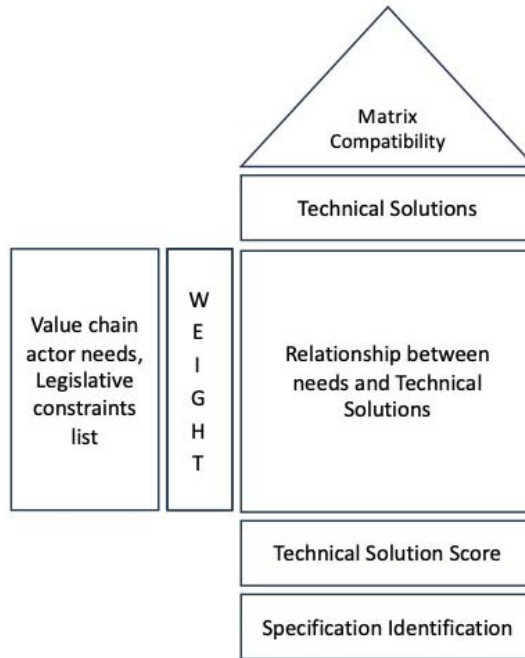


Figure 2 – HOQ structure

The technical parameters identified within each House of Quality (HOQ) will be compiled into a comprehensive Compatibility Matrix. This matrix serves as a tool to assess the level of compatibility among individual technical solutions, with each relationship evaluated on a scale ranging from 0 (indicating no compatibility) to 1 (indicating complete compatibility). Through this evaluation process, a spectrum of battery designs will be generated, which will subsequently undergo scrutiny in the final phase. These assessments will initially prioritize economic feasibility, primarily conducted through Life Cycle Costing analysis. Following this, an environmental evaluation will be carried out using Life Cycle Assessment. Based on the outcomes of these assessments, the manufacturer will be empowered to select the most optimal eco-design solution.

5 Discussion

The theoretical framework described in the previous chapter exemplifies its remarkable versatility by demonstrating adaptability to a multi-

tude of scenarios related to battery utilization. Moreover, this versatile framework serves as a model that can be extrapolated to a spectrum of regulated products, particularly those akin to batteries in terms of regulatory complexity and significance. It is not confined by geographical boundaries or limited to specific actors within the value chain. For instance, the framework finds relevance in various domains, including batteries used in diverse vehicles such as electric cars, buses, and bicycles, as well as stationary storage systems and portable electronic devices. Furthermore, it accommodates different battery types, encompassing lead-acid, lithium, redox, and more.

This multifaceted framework, while primarily tailored for batteries, serves as a template for the development of analogous frameworks for other regulated products. Its flexibility extends to diverse geographical regions marked by distinct regulations and varying resource availabilities, enabling the creation of tailored solutions to meet the unique demands of different contexts.

Within the context of Battery Regulation, the Battery Passport assumes a pivotal role as a tool for meticulously tracking batteries' lifecycle data, encapsulating vital information about their composition, origin, and processing. However, the presented framework has the potential to extend and enhance the capabilities of the Battery Passport, which predominantly offers a historical perspective. In contrast, the framework introduces a transformative dimension to this data. By seamlessly integrating with the Battery Passport, it converts static information into a dynamic resource. The dynamic aspect is vital as it continually updates and enriches the data, ensuring its relevance over time. This synergy between the framework and the Battery Passport can be elevated to its pinnacle through an integrated, web-based ecosystem, facilitated by cutting-edge technologies such as Machine Learning, Artificial Intelligence, and Blockchain.

The envisaged ecosystem, accessible to all stakeholders across the value chain, operates as a unified hub for actively contributing and receiving tailored information.

Such a system not only enhances data traceability but also introduces a revolutionary paradigm in eco-design. It streamlines the entire process by providing a comprehensive database of eco-design solutions. This database becomes a wellspring of knowledge that can significantly bolster the initial design phase outlined in Step 1 of the framework, simplifying subsequent steps.

6 Conclusions

In conclusion, the presented framework embodies a comprehensive and collaborative approach to eco-design within the battery industry. It has

emerged in response to identified shortcomings and gaps in the existing literature, addressing complex challenges that encompass the realms of legislation, engineering, and economics.

It is crucial to acknowledge the inherent limitations of this theoretical framework. Practical implementation and validation are necessary to ascertain its real-world effectiveness. Future developments should focus on translating this theoretical foundation into tangible applications within the battery industry.

The collaborative nature of the framework, while a source of great potential, also poses challenges. Active participation from various stakeholders along the battery value chain is essential. Navigating diverse perspectives and fostering consensus among these actors may require delicate negotiation. Nevertheless, this collaborative spirit is integral to the framework's strength, as it recognizes that sustainable eco-design is a collective effort.

Looking forward, this framework represents a promising step toward achieving sustainability objectives in the battery industry. It not only addresses pressing challenges but also promotes the harmonious integration of legislation, engineering, and economics. While it awaits practical validation, it stands as a beacon of hope for a greener, more sustainable future in the battery industry and beyond.

Acknowledgements

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

- BRÜCKNER, L., FRANK, J., ELWERT, T. (2020). Industrial recycling of lithium-ion batteries – A critical review of metallurgical process routes. *Metals*, 10(8), 1-29. <https://doi.org/10.3390/met10081107>.
- CASALS, L.C., AMANTE GARCÍA, B., CANAL, C. (2019). Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis. *Journal of Environmental Management*, 232, 354-363. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85057098544&doi=10.1016%2Fj.jenvman.2018.11.046&partnerID=40&md5=b105455836da8c69bbba4623011fca6>.
- CHARTER M., T.U. (2001). *Sustainable solutions*. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing.
- DAI, Q., KELLY, J.C., GAINES, L., WANG, M. (2019). Life cycle analysis of lithium-ion batteries for automotive applications. *Batteries*, 5(2). <https://doi.org/10.3390/batteries5020048>.
- DOLGANOVA, I., RÖDL, A., BACH, V., KALTSCHMITT, M., FINKBEINER, M. (2020). A review of life cycle assessment studies of electric vehicles with a focus on resource use. *Resources*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/resources9030032>. Directive 2006/66/EC, 58 1 (2006).
- COM(2019) 640 final, (2019).
- COM (2020) 98 final, 233 (2020).
- BATTERY REGULATION (EU) 2023/1542, 2023 1 (2023).
- COM(2023) 62 final, (2023).
- FLEISCHMANN, J., HANICKE, M., HORETSKY, E., IBRAHIM, D., JAUTELAT, S., LINDER, M., SCHAUFUSS, P., TORSCHT, L., RIJT, A. VAN DE. (2023). Battery 2030: Resilient, sustainable, and circular Battery demand is growing – and so is the need for. *McKinsey & Company*.
- GEBHARDT, M., BECK, J., KOPYTO, M., SPIESKE, A. (2022). Determining requirements and challenges for a sustainable and circular electric vehicle battery supply chain: A mixed-methods approach. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 203-217. <https://doi.org/10.1016/j.sp.2022.06.024>.
- KOROMA, M.S., COSTA, D., PHILIPPOT, M., CARDELLINI, G., HOSEN, M.S., COOSEMANS, T., MESSAGIE, M. (2022). Life cycle assessment of battery electric vehicles: Implications of future electricity mix and different battery end-of-life management. *Science of the Total Environment*, 831.
- MAO, J., YE, C., ZHANG, S., XIE, F., ZENG, R., DAVEY, K., GUO, Z., QIAO, S. (2022). Toward practical lithium-ion battery recycling: adding value, tackling circularity and recycling-oriented design. *Energy and Environmental Science*. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

- 85131966041&doi=10.1039%2Fd2ee00162d&partnerID=40&md5=86654404473d7b585d0c2672fee445f1.
- MAYYAS, A., STEWARD, D., MANN, M. (2019). The case for recycling: Overview and challenges in the material supply chain for automotive li-ion batteries. *Sustainable Materials and Technologies*, 19.
- PILLEY, S., MORKOS, B., ALFALAHI, M. (2018). Integration and Modularity Analysis for Improving Hybrid Vehicles Battery Pack Assembly. *2018 SAE World Congress Experience, WCX 2018, 2018*. <https://doi.org/10.4271/2018-01-0438>.
- SANSA, M., BADREDDINE, A., BEN ROMDHANE, T. (2019). A new approach for sustainable design scenarios selection: A case study in a tunisian company. *Journal of Cleaner Production*, 232, 587-607. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.299>.
- TALENS PEIRÓ, L., ARDENTE, F., MATHIEUX, F. (2017). Design for Disassembly Criteria in EU Product Policies for a More Circular Economy: A Method for Analyzing Battery Packs in PC-Tablets and Subnotebooks. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 731-741. <https://doi.org/10.1111/jiec.12608>.
- TORNOW, A., ANDREW, S., DIETRICH, F., DRÖDER, K., S., K. (2015). Impact of multi-material components on the assembly and disassembly of traction batteries. *22nd CIRP Conference on Life Cycle Engineering, LCE 2015, 29*, 792-797. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84939616935&doi=10.1016%2Fj.procir.2015.02.175&partnerID=40&md5=db8ceba2d1341ce3caf0244dad47a995>.
- TROUSSIER, N., SIRINA, N., ADRAGNA, P.-A., AMAYA, J., REYES, T., A.M., M., S., S., F.A., S., G., F., H., K., M., K., J., O., M., V. DER L. (2017). Methodology for multiple life cycles product ecodesign. *21st International Conference on Engineering Design, ICED 2017, 1*, 121-129. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85029745721&partnerID=40&md5=5055c2a49db324edb6016a3a5e24aead>.
- WOIDASKY, J., CETINKAYA, E. (2021). Use pattern relevance for laptop repair and product lifetime. *Journal of Cleaner Production*, 288. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098876424&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2020.125425&partnerID=40&md5=25d2f1371ff6a583c7442065738f1fd9>.
- ZHANG, C., LIU, Y., QIAN, Y., BAO, H., D., B., P., Z., H., P., A., R. (2020). An optimization framework of electric vehicle (EV) batteries for product eco-design. *27th CIRP Life Cycle Engineering Conference, LCE 2020, 90*, 366-371. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.081>.

- ZHANG, X., ZHANG, L., FUNG, K.Y., BAKSHI, B.R., NG, K.M. (2020). Sustainable product design: A life-cycle approach. *Chemical Engineering Science*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115508>.
- ZWOLINSKI, P., TICHKIEWITCH, S. (2019). An agile model for the eco-design of electric vehicle Li-ion batteries. *CIRP Annals*, 68(1), 161-164. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.009>.

Valore merceologico e indice di gradimento dei prodotti ittici trasformati forniti nella refezione scolastica

Giancarlo Palumbo

Università di Napoli "Federico II"

Isabella Maria De Clemente

Università di Napoli "Federico II"

ABSTRACT

Gli effetti negativi di una scorretta od eccessiva alimentazione stanno assumendo una rilevanza epidemiologica sempre maggiore. Nel corso degli anni le abitudini alimentari sono molto mutate e per un numero sempre crescente di individui è inevitabile utilizzare i servizi della ristorazione collettiva. La consapevolezza dello stretto legame tra alimentazione e salute ha generato una domanda sempre più esigente e l'industria alimentare ha aumentato notevolmente l'offerta di nuove tecnologie, nuovi processi, nuovi prodotti; il panorama si è così arricchito di una gamma molto ampia di prodotti anche appositamente formulati. Diversi sono, tuttavia, i dubbi sulle effettive nuove conoscenze e conquiste della scienza della nutrizione e della tecnologia alimentare al fine di ottimizzare l'offerta nutrizionale, visto il crescente fenomeno dell'obesità.

L'obiettivo di favorire nella popolazione corretti stili di vita è prioritario a livello internazionale e l'accesso e la pratica di una sana e corretta alimentazione è uno dei diritti fondamentali per il raggiungimento del migliore stato di salute, in particolare nei primi anni di vita. Il pasto a scuola è non solo occasione di socializzazione, ma è opportunità per abituare i bambini ad una alimentazione corretta ed equilibrata.

I prodotti della pesca rientrano ormai ampiamente nei menu della ristorazione scolastica, tuttavia, non sempre risultano graditi ai piccoli utenti: l'introduzione nei menu scolastici di nuovi prodotti a base di prodotti ittici potrebbe contribuire ad avvicinare i bambini all'alimento pesce. Nel lavoro si presentano i risultati di un'indagine preliminare su alcuni prodotti presenti sul mercato italiano, al fine di valutarne la qualità.

PAROLE CHIAVE/KEYWORDS: piatti pronti; prodotti della pesca; alimenti ultratrasformati; ristorazione scolastica; corretta alimentazione; offerta nutrizionale

1 Introduzione

La pesca e l'acquacoltura rappresentano una fonte importante di alimenti di elevato valore nutrizionale, di reddito e di occupazione. L'Italia presenta una grande varietà di ambienti acquatici, con produzioni ittiche molto diversificate e i cui consumi, che variano in relazione all'area geografica, sono in aumento, soprattutto fra coloro che scelgono tale alimento al ristorante (40,3% del 2022 rispetto al 13,2% del 2021), come emerso dalla ricerca realizzata nell'ambito del progetto FoodHub dal Ministero dell'agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste e da Unioncamere con la collaborazione tecnico-scientifica di Isnart-Istituto Nazionale Ricerche Turistiche, BMTI e Italmercati (ISNART). L'aumento, registrato soprattutto nel periodo successivo all'emergenza Covid, è conseguenza della maggiore attenzione alla salute e, quindi, al proprio stile di vita e ad una corretta alimentazione in cui è riconosciuto l'elevato valore nutrizionale dei prodotti ittici (pesci, molluschi, crostacei) per la presenza di proteine di alto valore biologico, di acidi grassi insaturi, della vitamina D e di minerali essenziali. Il valore nutrizionale colloca l'alimento tra i componenti della dieta mediterranea che, caratterizzata dalla prevalenza di prodotti di origine vegetale (cereali, legumi, olio, prodotti ortofrutticoli) associati al necessario apporto di prodotti di origine animale (pesce, carne, uova, latticini), risulta essere, come ampiamente dimostrato, il modello più efficace nella prevenzione dell'obesità e di malattie croniche quali malattie cardiovascolari, dismetaboliche, cancro. Diversificata è, quindi, l'offerta che riguarda sia il fresco che il trasformato sia di pregio che, seppure in misura minore, prodotti che costano meno e che spesso sono ritenuti di scarsa qualità anche nutrizionale.

Le norme che a livello europeo disciplinano il settore della pesca, dell'acquacoltura e della trasformazione dei prodotti ittici sono fondamentali per la tracciabilità, rintracciabilità e controllo igienico sanitario e l'innovazione tecnologica rappresenta una necessità per le aziende ittiche e per le imprese che si occupano di trasformazione e lavorazione dei prodotti ittici. La consapevolezza dello stretto legame tra alimentazione e salute ha, infatti, generato una domanda sempre più esigente e l'industria alimentare ha aumentato notevolmente l'offerta di nuove tecnologie, nuovi processi, nuovi prodotti; il panorama si è così arricchito di una gamma molto ampia di prodotti anche appositamente formulati, la cui qualità è essenziale per potersi differenziare sui mercati internazionali. Diversi sono, tuttavia, i dubbi sulle effettive nuove conoscenze e conquiste della scienza della nutrizione e della tecnologia alimentare al fine di ottimizzare l'offerta nutrizionale, visto il crescente fenomeno dell'obesità e gli effetti negativi di una scorretta od eccessiva alimentazione stanno ormai assumendo una rilevanza epidemiologica sempre maggiore.

Nel corso degli anni le abitudini alimentari sono molto mutate e per un numero sempre crescente di individui è inevitabile utilizzare i servizi della ristorazione collettiva. L'obiettivo di favorire nella popolazione corretti stili di vita è prioritario a livello internazionale e l'accesso e la pratica di una sana e corretta alimentazione è uno dei diritti fondamentali per il raggiungimento del migliore stato di salute, in particolare nei primi anni di vita, come sancito nella "Convenzione dei diritti dell'infanzia" adottata dall'ONU già nel 1989. Il pasto a scuola è non solo occasione di socializzazione, ma è opportunità per abituare i bambini ad una alimentazione corretta ed equilibrata che, al fine di evitare carenze, preveda l'assunzione in quantità adeguate delle diverse sostanze nutritive (10-15% proteine, 30% grassi, 55-60% carboidrati). Ogni nutriente, infatti, ha una precisa funzione nell'organismo umano e il fabbisogno varia in relazione all'età, al sesso, alla conformazione fisica, alla statura e al tipo di attività svolta.

Come riportato nell'Allegato 2 delle Linee di indirizzo nazionale per la ristorazione ospedaliera, assistenziale e scolastica: "La ristorazione scolastica rappresenta un'occasione importante per educare i bambini e i ragazzi alla scelta e al consumo consapevole di cibi sicuri, buoni e sani, provenienti da filiere legali e sostenibili per l'ambiente, la società e l'economia... La ristorazione scolastica si caratterizza come un momento educativo che promuove, sin dal nido d'infanzia, l'adozione di sane abitudini alimentari e di corretti stili di vita, che costituiscono una condizione irrinunciabile per il benessere delle generazioni presenti e future". Rappresenta, quindi, uno strumento prioritario per la promozione della salute e per educare ad una corretta alimentazione e, nel rispetto dei criteri di sicurezza igienico-sanitaria, deve garantire pasti appropriati di elevata qualità sia nutrizionale, nel rispetto delle indicazioni dei Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia (LARN) per le diverse fasce di età, che sensoriale, anche al fine di evitare inutili sprechi. Variare la scelta degli alimenti consente non solo il giusto apporto dei nutrienti necessari ad una crescita armonica, ma contribuisce alla diffusione di abitudini alimentari corrette. Un'alimentazione adeguata e corretta, ma anche piacevole ed accettabile, è alla base del mantenimento di un buono stato di salute e, in età evolutiva, per una crescita ottimale.

2 Piatti pronti a base di prodotti ittici

I prodotti della pesca rientrano ormai ampiamente nei menu della ristorazione scolastica, tuttavia, non sempre risultano graditi ai piccoli utenti. Nonostante il loro valore nutrizionale, si tratta di alimenti con problematiche relative alla presenza di lisce ed al gradimento, legato anche

alle modalità di allestimento e veicolazione dei pasti. Si tratta in genere di secondi piatti a base di merluzzo o di nasello, di platessa o di sogliola, ma anche di tonno sott'olio in scatola; nel menu mancano crostacei, molluschi e molluschi cefalopodi essendo alimenti ad alto rischio igienico-sanitario, soprattutto i primi due, e con effetti allergizzanti. È ben noto che il pesce, così come le verdure, non sono le pietanze preferite dai bambini, ma entrambi sono indispensabili, e non solo per la crescita: il primo è un alimento prezioso perché oltre a contenere vitamine e sali minerali, è una fonte di proteine nobili; i prodotti vegetali per il loro contenuto in fibre, vitamine e sali minerali, non possono mancare in una dieta sana ed equilibrata.

È ormai accertato che una dieta ricca di frutta, verdura, cereali integrali e che privilegia il pesce al posto della carne ha un effetto positivo sulla salute perché *previene, come detto, le malattie metaboliche, cardiovascolari e alcune forme tumorali, come il cancro al colon*. Tuttavia, sono proprio i più piccoli quelli che meno apprezzano i prodotti ittici, spesso a causa dell'odore e del sapore caratteristici, ma l'introduzione di tali alimenti nella dieta è indispensabile e nasce la necessità di convincere i bambini a mangiarli, poco importa se freschi o surgelati, abituantoli ai loro sapori fin dai primi anni di vita. Preparazioni sfiziose e invitanti come i bastoncini, la cui presenza sul mercato è ormai collaudata, cotolette, polpette e involtini possono rappresentare una valida strategia per aumentarne il gradimento.

Tra i piatti pronti, il bastoncino di pesce, presente sul mercato ormai da più di mezzo secolo, è stato il primo prodotto ad ottenere il gradimento di adulti e bambini. Ma non tutti i bastoncini sono uguali, come già evidenziato a suo tempo da un test effettuato da Altroconsumo: il pesce usato non è sempre di gran pregio e la differenza sostanziale tra un prodotto e l'altro sta nella qualità e nella quantità di merluzzo presente in ogni singolo bastoncino e i grassi e il sale presenti nella panatura non li rendono una valida alternativa a quello fresco (Test, 2012).

Ma sono soprattutto le cotolette ad essere preferite dai bambini per l'invitante panatura croccante che maschera l'aspetto e il colore dell'alimento, soprattutto nel caso delle verdure, tanto che oggi oltre alla carne anche il pesce, le verdure e gli ortaggi di stagione sono presentati sotto forma di cotoletta, dalle forme più varie, e sono inseriti nei menu della ristorazione scolastica. Abbiamo, quindi, messo a confronto diverse cotolette a base di pesce presenti sul mercato, al fine di valutarne la validità dal punto di vista nutrizionale.

3 Discussione dei risultati

Dal raffronto tra quanto dichiarato in etichetta sono emerse delle diversità sostanziali, la prima di tutte riguarda la percentuale di prodotto

ittico presente che varia dal 36% come valore minimo all'80%. I valori più alti si ritrovano nel caso delle preparazioni in cui è specificato l'utilizzo del filetto, con implicazioni non solo sul prezzo, ma sul valore nutrizionale. Il valore energetico su 100 g di prodotto varia, infatti, da 124/130 kcal come valore minimo, addirittura 108 kcal evidenziato su un prodotto, a 276 kcal.

In genere la specie ittica utilizzata è il merluzzo per il suo delicato sapore, ma di merluzzi ne esistono diverse varietà, più o meno pregiate. La gran parte dei produttori utilizza Merluzzo del Pacifico, dell'Atlantico, merluzzo carbonaro, dalle carni scure, dure e grasse, ma anche il Pollack d'Alaska dalle carni molli in passato destinate all'alimentazione animale e oggi anche per la preparazione di surimi, bastoncini e cotolette. Altre specie ittiche indicate sono il salmone, la platessa, il branzino e oggi anche il pangasio, specie dalla crescita rapida ma dalle minori proprietà nutrizionali rispetto al merluzzo, varietà ittica di maggiore qualità e di costo più alto.

In etichetta non sempre è specificata la specie, es. Cotoletta di merluzzo, più spesso la denominazione di vendita è genericamente Cotoletta di mare, e leggendo più attentamente la lista degli ingredienti si scopre che si tratta di una preparazione alimentare costituita da parti di pesce o ottenuta dalla lavorazione di pesce macinato di cui non sempre è riportata la specie, solo in alcuni casi si specifica "filetto".

Gli altri ingredienti riguardano la panatura e in questo caso la lista degli ingredienti diventa più o meno lunga: non solo pangrattato, farina, olio, lievito, sale, come ingredienti base, ma anche additivi vari come emulsionanti, acidificanti, agenti lievitanti, agenti di trattamento delle farine, nonché spezie come paprika e curcuma, utilizzate per insaporire ma più probabilmente per ravvivarne il colore, la panatura, infatti, per essere invitante deve presentarsi dorata, croccante e molto saporita.

A scopo indicativo si riporta di seguito, sotto forma di griglia per comodità di lettura, la denominazione di vendita e l'elenco degli ingredienti riportati in etichetta per alcuni prodotti:

Cotolette di mare – Prodotto Congelato	Pesce macinato (Merluzzo d'Alaska, Merluzzo del Pacifico, Merluzzo dell'Atlantico, Merluzzo Nordico, Merluzzo carbonaro in proporzione variabile) 44%, Pangrattato (Farina di frumento, Acqua, Spezie, Sale, Lievito) 20 %, Olio vegetale, Cetriolini sott-aceto (cetriolini, aceto di brandy, zucchero, sale) farina di frumento, Formaggio olandese (latte, sale, caglio, fermenti lattici), Acqua, Sale, Senape (acqua, semi di senape, aceto di brandy, sale, spezie), Amido di patata, Spezie, Zucchero, Amido di riso, semolino di riso, lievito in polvere (agente lievitante: Difosfati e carbonati di sodio, Amido di frumento), Spezie, Uova in polvere.
Cotoletta di merluzzo	Merluzzo 57% Agenti lievitanti: diidrogenodifosfato disodico, carbonato di sodio Olio di semi di girasole Destrosio Farina di frumento Curcuma Fibra di pisello Acidificante: acido acetico Fiocchi di patata (patata 99%, Emulsionante: E471) Colorante: estratto di paprika Fiocchi di mais dolce disidratato (Mais 96%, sale, estratto d'orzo, emulsionante: lecitina di girasole) Emulsionanti: mono e digliceridi degli acidi grassi Sale Zucchero Amido di tapioca Agenti di trattamento della farina: cisteina, acido ascorbico Oli vegetali (olio di colza e olio di girasole).
Cotoletta di merluzzo nordico – panatura con timo e origano	Filetti di Merluzzo Nordico (74%) (da pesca sostenibile certificata MSC) Pangrattato (farina di frumento, sale, lievito, paprica) Acqua Olio di semi di girasole Farina di frumento (farina di frumento di tipo 0, senza agenti di trattamento della farina) Amido di patate Farina di riso Sale (senza agenti antiagglomeranti) Piante aromatiche (origano, timo) (surgelate subito dopo il raccolto).
Cotolette di mare panate surgelate	Pesce (36%) farina di frumento, patate, olio di semi di girasole, acqua, sale, lievito, spezie.
Cotolette di merluzzo	Filetti di merluzzo 67%, farina di frumento, olio di semi di girasole, acqua, amido di patate, sale, destrosio, lievito, spezie (paprica, curcuma).
Preparazione alimentare a base di pesce, impanata, prefritta, surgelata	Pesce (36%), farina di frumento, patate, olio di semi di girasole, acqua, sale, lievito, spezie.
Bistecchine di mare – preparazione alimentare con merluzzo trattato e formaggio, panata, prefritta e surgelata	Merluzzo* 53%, farina di frumento, olio di semi di girasole, acqua, farina di mais, formaggi 2,5% (latte; sale; caglio; fermenti lattici), sale, maltodestrine, amido di mais, glutine di frumento, cipolla in polvere, lievito, spezie: paprica, curcuma, aglio in polvere.

Fish fingers (Filetto di pesce impanato)	Filetto di Pollack d'Alaska 65%, oli vegetali (girasole, colza), farina di riso, amido di mais, farina di mais, farina di ceci, acqua, riso soffiato, farina di grano saraceno, amido di patate, sale, farina di amaranto, farina di teff, sciroppo di glucosio in polvere, destrosio, estratto di lievito; agenti lievitanti: difosfato disodico, carbonato di sodio; addensante: gomma di xantano.
Hamburger di merluzzo impanati	Merluzzo d'Alaska 60%, pangrattato [farina di mais, farina di riso, destrosio di mais, sale, colorante (caramello naturale)], acqua, olio di semi di girasole, farina di mais, amido di mais, sale, addensante (gomma di xanthan), aroma naturale.
Merluzzo impanato surgelato	Merluzzo d'Alaska 61%, pangrattato [farina di riso, destrosio di mais, fibra vegetale, sale, spezie (curcuma e paprica), colorante (caramello naturale)], farina di mais, olio di semi di girasole, amido, acqua, sale, addensante (gomma di xanthan).
Breaded Fish Fillets	Fish Fillets 65% (Pangasianodon Hypophthalmus Farmed In Vietnam) Stabilizer (E451 I) Coating 35% [Wheat Flour Tapioca Starch Corn Starch Soybean Flour Water Salt Sugar Vegetable Shortening Bread (Gluten) Instant Yeast Stabilizers (E491 E460 E450) Flavour Enhancers (E627 E631) Raising Agents (E500 E500ii) Firming Agents (E341) Calcium Sulphate (E516) Amylase (A1100) Colours (E160a E160b)].
Preparazione alimentare a base di filetti di merluzzo d'Alaska con patate pre-fritte. Surgelata	Filetti di merluzzo d'Alaska 52%, patate prefritte 27% (patate, olio vegetale di semi di girasole, destrosio), acqua, oli vegetali (olio di semi di girasole, olio di colza, in proporzione variabile), pomodori parzialmente disidratati 2% (pomodori, olio vegetale di semi di girasole, sale), olio vegetale extra vergine di oliva, pangrattato 1,5% (farina di frumento, acqua, lievito, sale), sale, amido di mais, succo di limone da concentrato, rosmarino 0,3%, pepe bianco, uovo in polvere.
Fishburger di merluzzo d'Alaska	Filetti di Merluzzo d'Alaska (57%) (da pesca sostenibile certificata MSC) Pangrattato (farina di frumento, sale, lievito, zucchero, paprica, curcuma, olio di semi di girasole) Acqua Farina di frumento Olio di semi di girasole Amido di patata Sale.
Filetti di merluzzo alla mugnaia	Filetti di merluzzo (80%) Pangrattato (farina di frumento, sale, lievito) Farina di frumento Olio di semi di girasole Acqua Amido di patata Sale Farina di riso Prezzemolo Pepe nero.
Filetti di platessa in croccante panatura	Filetti di Platessa (50%) (da pesca sostenibile certificata MSC) Pangrattato (farina di frumento, sale, lievito naturale, paprica, curcuma) Acqua Olio di semi di girasole Farina di frumento (farina di frumento di tipo 0, senza agenti di trattamento della farina) Sale (senza agenti antiagglomeranti).
Filetti di platessa impanati surgelati, senza spine	Filetto di platessa 65% (Pleuronectes platessa, pescata nell'Atlantico Nord-orientale) Pangrattato 35% (farina di frumento, acqua, sale, lievito, coloranti: annatto – estratto di paprica e curcumina).

Burger di salmone ASC impanato decongelato Salmone (Salmo salar) allevato in Norvegia	74% Salmone Olio di semi di girasole Panatura (farina di frumento, amido di patate, destrosio, olio di colza, sale, lievito) Farina di frumento Amido di frumento modificato Estratto di spezie (estratto di cipolla, estratto di capsico) Sale Sciroppo di glucosio disidratato Destrosio Glutine di frumento Siero di latte in polvere (latte) Estratto di erbe (estratto di tè verde, estratto di rosmarino) Acidificante: acido citrico Stabilizzante: gomma di xanthan.
Cotolette di branzino	Branzino 57% Farina di frumento Olio di semi di girasole Fiocchi di mais (mais, zucchero, sale, malto d' orzo, lecitine di girasole) Fiocchi di patate Amidi (pisello, tapioca) Fibra di pisello Sale Lievito di birra Spezie: paprica, curcuma.
Cotoletta di salmone	Salmone 62% (salmon salar) allevato norvegia (farina di grano, olio di colza, acqua, fibre vegetali, frumento, sale, lievito, amido di frumento, farina di mais, sciroppo di glucosio, aglio in polvere, paprika in polvere, aroma naturale, curcuma in polvere).

4 Conclusioni

Accertato lo stretto legame tra alimentazione e salute, l'obiettivo delle Linee di indirizzo nazionale per la ristorazione scolastica è quello di facilitare, fin dai primi anni di vita, l'adozione di idonee abitudini alimentari al fine di scongiurare il rischio dell'insorgenza di patologie conseguenza di un'alimentazione scorretta. Il compito di chi si occupa di refezione scolastica, nutrizionisti, dietisti, cuochi, deve essere certamente la preparazione di pasti equilibrati dal punto di vista nutrizionale, non trascurandone però la gustosità.

I menu devono, pertanto, essere realizzati rispettando:

- le Linee Guida per una sana alimentazione del Centro di Ricerca per gli Alimenti e la Nutrizione (CREA, ex INRAN)
- le Linee Guida Regionali e Nazionali e tenendo presente
- lo schema della Piramide Alimentare tipica della dieta mediterranea.

I prodotti panati hanno sempre più successo soprattutto fra i piccoli utenti pertanto, l'introduzione nei menu scolastici di pietanze a base di prodotti ittici, quali le cotolette impanate, potrebbe certamente contribuire ad avvicinare i bambini all'alimento pesce e trattandosi di piatti pronti, freschi o surgelati, rappresentano certamente una comodità per chi si occupa di ristorazione, ma si tratta di alimenti che rientrano nella definizione di ultrasformati, vista la lunga lista degli ingredienti riportati (Redazione, 2023, Balboni, 2022). Si tratta di prodotti non sempre validi dal punto di vista nutrizionale, per cui è necessaria un'attenta lettura dell'etichetta per valutare

quantitativo di pesce e valore nutrizionale; attenzione poi alla dicitura pesce macinato, preferire i filetti che garantiscono la specie utilizzata.

Infatti, visto l'alto contenuto di molecole bioattive, presenti anche nei residui della lavorazione (squame, lisce, carapace dei crostacei), sono in corso di studio nuove tecnologie finalizzate alla valorizzazione dei flussi secondari dei prodotti ittici nonché delle specie con basso o nullo valore commerciale, per successiva trasformazione in alimenti funzionali con alto valore aggiunto. Inoltre il Regolamento (UE) 1380/2013 sulla gestione della pesca prevede "un approccio basato sugli ecosistemi" al fine di limitare l'impatto ambientale dell'attività e ridurre le catture accidentali con conseguenti rigetti in mare che rappresentano uno spreco considerevole e incidono negativamente sullo sfruttamento sostenibile delle risorse biologiche e sugli ecosistemi marini. Prevede, quindi, l'obbligo di sbarco per tutto il pescato, anche di quello con basso o senza valore commerciale per il quale a volte non c'è convenienza economica per lo smaltimento dell'eccedenza. L'industria ittica si trova così di fronte a future sfide non solo ecologiche ma anche economiche, da cui risulta necessaria la valorizzazione di ciò che viene considerato scarto.

Ogni anno in Europa l'industria ittica trasforma oltre 5 milioni di tonnellate di pesce, e per evitare che quasi il 70% sia destinato a diventare alimento per animali o allo smaltimento, con costi elevati per le imprese, a livello europeo è stato finanziato il progetto WaSeaBi, che prevede una tecnologia sviluppata presso l'Università tecnologica di Chalmers, in Svezia, per la valorizzazione a scopo alimentare dei sottoprodotti della pesca e della lavorazione dei prodotti ittici. La tecnologia, già utilizzata in Svezia da un impianto di trasformazione di aringhe, permette di utilizzare oltre al filetto, frazioni quali testa, coda, lisca da cui ottenere materie prime e ingredienti alimentari. La possibilità di aumentare la quantità di macinato ha suscitato l'interesse dell'industria alimentare e del comparto che si occupa di ristorazione collettiva, tra cui la ristorazione scolastica. Sulla stessa scia si sta muovendo in Italia anche la Stazione Sperimentale per l'Industria delle Conserve Alimentari (SSICA, 2022).

L'introduzione di nuove tecnologie nel settore della pesca per la valorizzazione di specie di pesce di scarso valore commerciale (sugarelli, pagelli, ma anche sardine e acciughe) e/o di frazioni di scarto della lavorazione (squame, lisce, coda, carapace dei crostacei) risulta necessaria per rispondere alle sfide, non solo ecologiche ed economiche, ma anche nutrizionali, che l'industria alimentare dovrà affrontare. Lo sfruttamento più sostenibile delle risorse acquatiche nonché il recupero dei prodotti di scarto richiede un percorso difficile ma indispensabile per la realizzazione di un'economia circolare e per contrastare il problema degli sprechi, le cui conseguenze sono evidenti dal punto di vista economico, ma soprattutto ambientale. Occorre,

però, che la qualità del prodotto finale sia elevata perché il consumatore richiede prodotti di qualità, dal punto di vista sensoriale, del valore nutrizionale, vuole essere informato sull'origine delle materie prime, degli ingredienti, è attento all'impatto ambientale della produzione.

I prodotti ittici rappresentano un alimento fondamentale che non dovrebbe mai mancare nell'alimentazione a partire già dai primi anni di vita. I piatti pronti quali le cotolette di mare certamente sono invitanti e gustose e possono avvicinare soprattutto i più piccoli all'alimento pesce ma, visti i diversi prodotti in commercio, andrebbero considerate più come sfizio che come una vera alternativa al pesce fresco o alla carne perché, soprattutto se sono inserite nei menu settimanali della ristorazione scolastica, è importante la qualità delle materie prime e, quindi, la qualità nutrizionale.

References

- UFFICIO STAMPA ISNART, Nasce il progetto Foodhub, <<https://www.isnart.it/>> Roma, 26 aprile 2023.
- MINISTERO DELLA SALUTE, Linee di indirizzo nazionale per la ristorazione ospedaliera, assistenziale e scolastica, <<https://www.salute.gov.it/>>.
- TEST, *Poveri bastoncini*, in «Altroconsumo» 256, febbraio 2012, pp. 20-24.
- CREA Linee Guida per una sana alimentazione <<https://www.crea.gov.it/>>.
- REDAZIONE IL FATTO ALIMENTARE, Ultra-trasformati: come riconoscerli e trovare alternative più sane, Settembre 2023 <<https://ilfattoalimentare.it/>>.
- VALERIA BALBONI, Cotolette a confronto: sono tutti alimenti ultra-trasformati, ma non sono uguali, Il Fatto Alimentare, settembre 2022, <<https://ilfattoalimentare.it/>> <<https://www.waseabi.eu/>>.
- SSICA <<https://www.ssica.it/valorizzazione-sottoprodotti-della-pesca/>>.

Valutazione degli impatti sociali secondo l'approccio LCT: best practices per la filiera agroalimentare

Gabriella Arcese

Università degli Studi Niccolò Cusano

Stefano Poponi

Università della Tuscia

Maria Giovina Pasca

Università degli Studi Niccolò Cusano

Francesco Pacchera

Università della Tuscia

Giulia Padovani

Università degli Studi Niccolò Cusano

Laura Di Pietro

Università degli Studi Roma Tre

Maria Claudia Lucchetti

Università degli Studi Roma Tre

ABSTRACT

Lo studio si propone di sviluppare un modello di Social-Life Cycle Assessment (S-LCA) e Social Organizational Life Cycle Assessment (SO-LCA) per il settore agro-alimentare. Attraverso l'analisi del comportamento delle aziende del settore verranno studiati gli aspetti socioeconomici e le relazioni con gli stakeholder al fine di creare un modello di riferimento, testato attraverso una fase pilota che vede la creazione di un database dettagliato e specifico applicabile per le aziende del settore. Scopo della ricerca è diffondere la cultura della sostenibilità globale e la misurabilità di questa attraverso l'utilizzo di uno strumento che rispecchia uno standard di applicazione e che ha come riferimento una linea guida internazionale.

La metodologia di base, che verrà seguita per la costruzione del database, è la Life Cycle Assessment così come definita dalle norme ISO 14040 e 14044.

Lo strumento è utile per le associazioni di categoria e per i consumatori al fine di identificare in modo più semplice l'impatto sociale delle scelte di consumo. Per quanto riguarda il mondo produttivo e industriale il database rappresenta uno strumento tecnico molto utile a supporto dell'ottenimento anche delle certificazioni di valutazione di impatto sociale e rappresenta il benchmark per il miglioramento competitivo delle aziende.

Lo sviluppo dell'approccio applicativo di S-LCA e SO-LCA per l'agri-food rappresenterebbe un punto di riferimento internazionale e andrebbe a costituire una best practice, scalabile e riproducibile a livello internazionale.

PAROLE CHIAVE: social impacts; life cycle approach; social-life cycle assessment; agrifood chain; global sustainability; stakeholders

1 Introduzione

Gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile definiti dall'Agenda 2030 hanno valorizzato l'importanza delle tre dimensioni della sostenibilità (ambientale, economica e sociale). Questo ha portato la sostenibilità sociale (SDG 8-12) ad avere maggiore considerazione anche tra organizzazioni lungo la value chain.

Per le aziende è ormai imprescindibile seguire un approccio di triple bottom line che cerchi di soddisfare pienamente gli obiettivi che rientrano nelle tre aree di interesse della sostenibilità.

Le aziende che sono sempre più attente ad orientare le proprie strategie verso la realizzazione della sostenibilità, dispongono di numerosi strumenti che spaziano dalla possibilità di offrire beni e servizi limitando gli impatti ambientali provenienti dal loro operato (ad esempio: ISO 14001, EMAS, Environmental Life Cycle Assessment - ELCA) e di strumenti capaci di tenere in considerazione le implicazioni di carattere sociale che derivano dal proprio modus operandi (Poponi et al., 2022). Si è osservato infatti che, ultimamente le imprese non sono solo interessate a dimostrare il loro impegno verso il soddisfacimento di target ambientali (minori emissioni, minore sfruttamento delle risorse naturali, predilezione nell'utilizzo di materie prime seconde, pratiche di riuso etc.) ma riconoscono come fondamentale lo sviluppo di azioni che soddisfino la realizzazione di obiettivi di benessere sociale.

Lo studio si propone di sviluppare un modello di Social-Life Cycle Assessment (S-LCA) e Social Organizational Life Cycle Assessment (SO-LCA) apposito per il settore agro-alimentare. Attraverso l'analisi del comportamento delle aziende del settore verranno studiati gli aspetti socioeconomici e le relazioni con gli stakeholder al fine di creare un modello di riferimento, testato attraverso una fase pilota che vede la creazione di un database dettagliato e specifico applicabile per le aziende del settore.

Scopo dello studio è diffondere la cultura della sostenibilità globale e la misurabilità di questa attraverso l'utilizzo di uno strumento che rispecchia uno standard di applicazione e che ha come riferimento una linea guida internazionale.

La realizzazione della ricerca ed in particolare la costruzione di un database per le aziende agroalimentari ha previsto la:

1. definizione e applicazione di una metodologia comune e coerente

2. raccolta dati e costruzione degli inventari del ciclo di vita (LCI)
3. valutazione della qualità dei dati attraverso lo sviluppo di una matrice finalizzata validazione dati e alla verifica dell'attendibilità degli stessi.

Lo sviluppo dell'approccio applicativo di S-LCA e SO-LCA per l'agri-food rappresenterebbe un punto di riferimento internazionale e andrebbe a costituire una best practice, scalabile e riproducibile a livello internazionale.

Al momento nessuno studio applicativo della metodologia SO-LCA nel settore agro-alimentare è presente nella letteratura accademica e pochi e limitati studi sono stati portati avanti da realtà aziendali.

Lo studio è articolato nel seguente modo. Nella Sezione 2 si approfondisce la letteratura esistente. Nella Sezione 3 viene presentata la metodologia utilizzata nella ricerca. Nella Sezione 4 vengono discussi i risultati e le implicazioni preliminari dell'analisi e nella Sezione 5 le conclusioni.

2 Background

L'ONU, con l'Agenda 2030, ha fissato gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile e i target universali necessari a bilanciare le tre dimensioni della sostenibilità (ambientale, economica e sociale). La sostenibilità sociale, in particolar modo è rappresentata in diversi SDGs direttamente correlati alle attività aziendali (SDG 8-12) ed è stata considerata anche nelle norme tecniche di standardizzazione (es. ISO 26000; UN, 2010; SA8000; AA1000; GRI) volte a creare una relazione stabile e continue sinergie tra organizzazioni lungo la value chain.

Questa ricerca mira ad analizzare il comportamento delle aziende del settore agroalimentare localizzate nel Lazio al fine di valutarne gli aspetti socioeconomici e le relazioni con gli stakeholder per creare un modello di riferimento basato sullo strumento SO-LCA, testato, estendibile e replicabile alle aziende del settore.

La SO-LCA è una metodologia per valutare gli aspetti sociali e socioeconomici e gli impatti delle attività di un'intera organizzazione.

In un momento storico caratterizzato poi anche dai fenomeni pandemici, l'ecosistema deve essere inteso come pianeta ma anche come economia e più in generale come contenitore di benessere sociale (Martínez-Blanco et al., 2015). In tale contesto, la LCA è considerata la metodologia principe in termini di metrica della sostenibilità, in quanto efficace nella definizione di obiettivi di sostenibilità e strategie innovative nella sfida ai cambiamenti climatici e nel supporto ai processi decisionali delle policy pubbliche e aziendali (Arcese et al., 2018).

La sostenibilità sociale è stata presa in considerazione anche in altre iniziative nazionali ed internazionali e norme tecniche di standardizzazione (es. ISO 26000; UN, 2010; SA8000; AA1000; GRI) volte a creare una relazione stabile e continue sinergie tra organizzazioni lungo la value chain. Il Social Organizational Life Cycle Assessment è una metodologia per valutare gli aspetti sociali e socio-economici e gli impatti delle attività di un'intera organizzazione (o di una parte di essa) dal punto di vista del ciclo di vita (Arcese, Lucchetti, Merli, 2013; do Carmo et al., 2020; Tokede e Traverso, 2020; Lucchetti et al., 2018).

La metodologia nasce dal connubio tra valutazione del ciclo di vita organizzativo (O-LCA) che sulla valutazione del ciclo di vita sociale (S-LCA).

La S-LCA e la SO-LCA possono essere condotte a diversi livelli:

- Livello comportamentale: l'analisi è limitata allo studio dell'azione che direttamente ha generato l'effetto sociale (ad esempio negazione del diritto di servitù di passaggio alla popolazione locale; licenziamento senza giusta causa, ecc.)
- Livello socio-economico: è un livello intermedio in cui si aggiunge un elemento alla semplice analisi del comportamento: oltre all'azione scatenante e l'effetto da questa provocato, si considera la motivazione socio-economica che ha determinato la scelta della condotta da adottare. Si tratta di un'analisi di tipo strategico.
- Livello dei 'capitali': è l'ultimo livello di analisi in cui si valuta l'effetto socio-economico alla luce delle caratteristiche umane, sociali e culturali del contesto in cui tale impatto si esplica.

Perciò, la S-LCA (e l'evoluzione in SO-LCA) si pone come uno strumento imprescindibile nel contesto dello sviluppo sostenibile, in quanto la sua applicazione risultata essere di fondamentale importanza nelle scelte di policy e nella realizzazione di strategie aziendali incentrate sulla sostenibilità. La S-LCA rappresenta quello strumento che può andare a cogliere gli impatti sociali derivanti dalla produzione di un bene o di un servizio, consentendo di visualizzare lungo tutto il ciclo di vita del prodotto eventuali criticità, per consentire interventi mirati e diretti per la loro correzione (Arcese et al., 2017; do Carmo et al., 2017; Jørgensen et al., 2008). Diventa quindi importante effettuare una valutazione attenta delle implicazioni, soprattutto di carattere sociale che riguardano questo settore, in ragione anche della maggiore attenzione alle pratiche di sostenibilità sempre più richieste da parte dei consumatori e delle istituzioni che pongono sempre più attenzione al tema della sostenibilità (Lucchetti et al., 2019).

3 Metodologia

La metodologia implementata, per la costruzione del database, è la Social Life Cycle Assessment che segue gli standard ISO 14040-44 disponibili per la valutazione del ciclo di vita ambientale in assenza di uno standard specifico, oltre ai principi generali della linea guida SLCA. Gli impatti sociali sono il risultato di pressioni positive o negative sugli endpoint. Per gli aspetti tecnico-metodologici preserva l'impostazione dell'analisi LCA ambientale.

La S-LCA introdotta nel 2009 con la prima linea guida UNEP/SETAC e seguita nel 2015 dalla SO-LCA, consistono nella compilazione di un inventario per la valutazione degli aspetti sociali e socio-economici e degli impatti positivi e negativi delle attività associate ai prodotti o all'organizzazione nel suo complesso, o ad una parte di essa, in una prospettiva del ciclo di vita (Benoît-Norris et al., 2011). Lo strumento supporta le organizzazioni nella definizione di obiettivi e priorità in merito ad azioni, programmi e risorse, e aiuta ad ottimizzare i risultati fornendo una panoramica sulle sue prestazioni sociali attraverso l'identificazione dei punti critici lungo la catena del valore considerata. La SO-LCA nasce come risultato della combinazione tra S-LCA e Organizational Life Cycle Assessment e, prevede quattro fasi per la realizzazione dell'analisi: 1. definizione di obiettivo e ambito di applicazione; 2. analisi di inventario; 3. valutazione dell'impatto; 4. Interpretazione (ISO 14044:2006).

La SO-LCA mira a valutare l'intera organizzazione o una parte di essa (ovvero strutture, area geografica, marchi) dal punto di vista del ciclo di vita. Inoltre, il quadro tecnico della SO-LCA si basa su quelli adottati dall'O-LCA e dalla S-LCA combinati tra loro. La SO-LCA è, quindi, definita come "una raccolta e una valutazione degli aspetti sociali e socio-economici e degli impatti positivi e negativi delle attività associate all'organizzazione nel suo insieme o ad una parte di essa adottando una prospettiva del ciclo di vita".

L'analisi SLCA è condotta attraverso l'identificazione di cinque categorie di stakeholder: lavoratori, consumatori, comunità locali, aziende e attori della catena del valore e la relativa sottocategoria di impatto. Nel nuovo aggiornamento c'è anche la categoria bambini. Questa metodologia, essendo nella sua fase di sviluppo, ha affrontato diversi problemi, dalla completezza dell'SLCA alla risoluzione delle sue carenze metodologiche. Un tema che spesso emerge è il doppio conteggio rispetto alle variabili ambientali, soprattutto considerando l'integrazione tra LCA ambientale e sociale. Lo SLCA si pone quindi come strumento essenziale nel contesto dello sviluppo sostenibile, in quanto la sua applicazione si è rivelata di fondamentale importanza nelle scelte di policy e nell'attuazione delle strategie aziendali

focalizzate sulla sostenibilità. La SLCA rappresenta lo strumento in grado di cogliere gli impatti sociali derivanti dalla produzione di un prodotto o servizio consentendo di visionare eventuali criticità lungo tutto il ciclo di vita del prodotto, per consentire interventi mirati e diretti per la loro correzione.

3.1 Discussione dei risultati preliminari

L'obiettivo di questo progetto è quello di sviluppare un modello di SO-LCA che sia applicabile alle specificità del settore agro-alimentare laziale. Il progetto di ricerca mira, dunque, ad analizzare il comportamento delle aziende del settore agroalimentare localizzate nel Lazio al fine di comprendere gli aspetti sociali e socio-economici e alle relazioni con gli stakeholder attraverso l'utilizzo della SO-LCA e creare un modello di riferimento, testato attraverso una fase pilota del progetto che vede l'applicazione sperimentale alle aziende e la creazione di un database dettagliato e sito-specifico applicabile per le aziende del settore.

Lo sviluppo di questo tipo di analisi costituirebbe uno dei primi approcci applicativi della metodologia SO-LCA nel settore agroalimentare e rappresenterebbe un punto di riferimento a livello internazionale per l'implementazione di questo tipo di analisi.

Inoltre, il progetto andrebbe a costituire una best practice, scalabile e riproducibile non solo sull'intero territorio regionale ma anche a livello nazionale e internazionale.

La letteratura esistente evidenzia il bisogno di ricerche che applicano la metodologia SO-LCA nel settore agro-alimentare.

La filiera agroalimentare nazionale è caratterizzata da moltissimi stakeholder e prodotti tipici come olio, vino, salumi o di prodotti di base come latte e derivati per cui sono presenti dati sugli impatti ambientali ma pochi dati di impatto sociale.

Difatti, è necessario costruire una metodologia comune e coerente per uniformare i contenuti degli inventari di dati per categoria di stakeholder e prodotti. Tutti i database sono costruiti partendo dall'esposizione di una metodologia comune per il settore "agrifood" sulla base de database di inventario della LCA ambientale.

La ricerca è motivata, infatti, anche dal bisogno di banche dati convalidate e attendibili essendo, i risultati finora ottenuti e presenti in letteratura, fortemente dipendenti dalla qualità dei dati contenuti nei database impiegati.

Nel tempo sono stati sviluppati vari database ma fanno riferimento prevalentemente a processi industriali, trascurando i processi relativi al settore agroalimentare e non vi è riscontro in merito alla componente socioeconomica. Il progetto mira, infatti, a fornire un punto di riferimento che,

oltre ad essere base scientifica per ulteriori studi, possa anche essere collettore dei risultati delle ricerche locali messe poi a disposizione delle aziende del settore al fine di migliorarne la sostenibilità globale.

Tutti i database saranno costruiti partendo dall'esposizione di una metodologia comune per il settore "agrifood", tenendo conto anche delle già attuali problematiche relative all'implementazione della LCA nel settore agro-alimentare che riflette alcune scelte metodologiche proprie del settore come la variabilità geografica e temporale delle produzioni agricole, la stagionalità, le unità funzionali caratteristiche, la qualità di prodotto, la gestione della multifunzionalità, gestione del rifiuto e del sottoprodotto, modelli di dispersione dei fitofarmaci e dei fertilizzanti, le tecniche colturali e le tecnologie di trasformazione. Al termine dello studio non si avrà, quindi, un solo processo nella banca dati, così come avviene nelle banche dati presenti in commercio per la LCA ambientale, sarà possibile esporre decine di inventari rappresentativi delle varie situazioni produttive. Partendo da questi inventari sarà poi possibile anche costruire un unico inventario sintetico rappresentativo dell'intera produzione.

È possibile seguire tre diversi percorsi (Pathway) (Figura 1) utilizzando l'esperienza pregressa o i dati già acquisiti delle organizzazioni. Il primo (Pathway 1) può essere applicato in caso di esperienza pregressa dell'organizzazione analizzata con approcci sociali a livello organizzativo (ad esempio, GRI, SA8000, AA1000, Social Impact Assessment (SIA)); il secondo (Pathway 2) in caso di esperienza con approcci relativi agli aspetti sociali del prodotto; il terzo (Pathway 3) in caso di esperienza con valutazioni ambientali secondo un approccio al ciclo di vita (ad esempio, LCA e O-LCA).

Le analisi possono essere condotte attraverso lettura dei dati acquisiti (o da acquisire) attraverso collezione e consultazione di questionari e utilizzo di banche dati. I questionari vengono solitamente costruiti secondo metodi di caratterizzazione e considerando le Guidelines for Social LCA e le Methodological Sheets. La valutazione degli impatti viene condotta per categorie di stakeholder e sottocategorie e possono essere utilizzati diversi metodi (i Performance Reference Point (PRP), Impact pathway approach e SAM). Il più utilizzato in questo momento è il metodo SAM (Subcategory Assessment Method) basato su Ramirez et al. (2014) con l'obiettivo di ridurre il rischio di errore nella valutazione, correlato alla ancora scarsa applicazione pratica della SO-LCA. SAM è infatti un metodo di valutazione degli impatti consolidato, che basa la valutazione su una scala di livelli (cioè A, B, C, D) e una scala di punteggi (cioè 4, 3, 2, 1) consentendo di trasformare i dati da qualitativi a semi-quantitativi (Ramirez et al., 2014). Tale metodo si basa su criteri di valutazione predefiniti a partire dalla definizione di requisiti di base che fanno riferimento ad accordi internazionali e nazionali, per ogni categoria di stakeholder, lavoratori, comunità locale, consu-

matori, società, altri attori della catena del valore, si hanno delle sottocategorie di impatto necessarie alla valutazione.

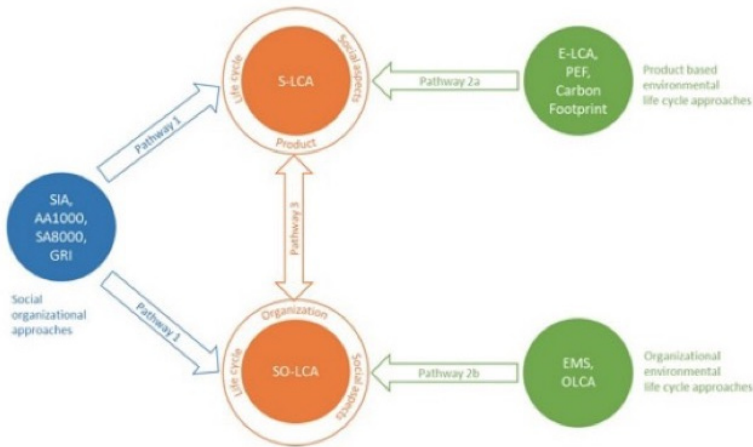


Figura 1 – Pathway

È stata data enfasi alla differenziazione tra impatto effettivo, impatto potenziale, rischio sociale, hotspot sociale e prestazioni sociali per fornire una struttura chiara sulla metodologia e migliorare la comparabilità dei diversi studi. Nella letteratura attuale, infatti, le terminologie citate sono usate spesso come sinonimi e sono invece molto diverse:

- Gli impatti sociali effettivi sono i possibili cambiamenti che possono accadere alle persone a causa di un'attività basata sui dati osservati. Valutare gli impatti sociali effettivi significa utilizzare dati specifici primari osservati e verificati raccolti direttamente dagli stakeholder per la valutazione. Gli indicatori proxy potrebbero non essere utilizzati e lo studio potrebbe non essere di natura predittiva.
- I potenziali impatti si hanno quando vengono utilizzati solo dati proxy e di paese/settore. L'impatto potenziale può essere effettuato durante la valutazione del rischio sociale.
- L'hotspot sociale è un luogo e / o un'attività nel ciclo di vita in cui è probabile che si verifichi un problema sociale (come impatto) e/ o un rischio sociale.
- La performance sociale si riferisce ai principi, alle pratiche e ai risultati delle relazioni delle imprese con persone, organizzazioni, istituzioni, comunità e società in termini di azioni deliberate delle

imprese nei confronti di questi portatori di interesse, nonché le esternalità non intenzionali dell'attività aziendale misurate rispetto ad uno standard noto.

Obiettivo generale della ricerca è diffondere la cultura della sostenibilità globale e la misurabilità di questa attraverso l'utilizzo di uno strumento che rispecchia uno standard di applicazione e che ha come riferimento una linea guida internazionale. Tra gli obiettivi specifici possiamo collocare la realizzazione di un modello di applicazione sito-specifica riferita alla realtà laziale e alle aziende del settore agrifood.

Tra gli obiettivi intermedi è possibile distinguere:

- una fase di sperimentazione dell'applicazione della metodologia alle aziende di diversi settori produttivi che sono state coinvolte su base volontaria
- una fase di raccolta e catalogazione dei dati quantitativi e qualitativi utile alla collezione di dati di inventario non disponibili in questo momento in nessuna banca dati e stabilendo dei criteri regionali replicabili
- realizzazione dei database di riferimenti fruibili dalle aziende del settore per incentivare l'utilizzo dello strumento. Database che verranno create tenendo in considerazione le caratteristiche del settore e le esigenze territoriali regionali anche in considerazione della creazione di schede tecniche per i prodotti principali (vino, olio, latte etc.).
- piattaforma del progetto: in cui sarà promossa la linea guida internazionale e sarà utile alla fruizione da parte delle aziende dei database creati.

L'obiettivo finale che la ricerca si pone di raggiungere è la diffusione della piattaforma e il suo utilizzo e dei dati contenuti dai database al fine di diffondere la pratica della valutazione degli impatti sociali con l'approccio life cycle e l'utilizzo degli strumenti S-LCA e So-LCA.

In generale l'alta specializzazione italiana e il settore agroalimentare e così come nello specifico l'attività agricola dà ancora un poco peso all'alta specializzazione e all'importanza dell'impiego di risorse umane skill intensive e tecnologie avanzate. Nonostante l'importanza ricoperta dal settore per il sistema paese, il mercato italiano è da considerarsi più limitato rispetto a Germania, Regno Unito e Nord-Europa per lo stadio meno avanzato in cui si trova attualmente nell'adozione di ICT, uso di tecnologie Smart e Big data, propensione e orientamento alla sostenibilità.

L'approccio analitico per l'utilizzo dei Big Data, inoltre, dovrebbe essere finalizzato a creare e supportare strategie competitive e di internazionalizzazione delle aziende consentendo così vantaggi competitivi e margini di profitto più ampi.

La caratterizzazione del tessuto produttivo delle aziende del settore in PMI, distretti industriali e indotti in cui le PMI lavorano stabilmente attraverso le partnership con grandi aziende leader fa sì che ci sia un divario di conoscenza e di sensibilità verso le tematiche di sostenibilità.

Con questa evidente necessità, la ricerca si colloca proprio in risposta di questa lacuna in parte formativa e in parte legata allo sviluppo dei processi innovativi aziendali e si pone l'obiettivo di creare delle esperienze e competenze di alto livello necessarie in questo periodo di transizione verso un'economia più sostenibile nel settore agrifood.

4 Conclusioni

Il progetto di ricerca relativo alla valutazione di impatto economico-sociale secondo l'applicazione degli strumenti basati sull'approccio ciclo di vita si colloca in un contesto economico-sociale nazionale e internazionale in cui il concetto di sostenibilità globale risulta poter diventare non solo una componente necessaria alla sopravvivenza delle imprese ma, sempre più una variabile competitiva per la creazione del valore all'interno delle filiere produttive.

La sfida al cambiamento climatico e i suoi effetti sulla società e sull'ambiente si sviluppa in due direzioni: la mitigazione, volta a ridurre progressivamente le emissioni di gas climalteranti responsabili del riscaldamento globale, e l'adattamento, che mira a diminuire la vulnerabilità dei sistemi ambientali, sociali ed economici e aumentare la loro capacità di resilienza climatica.

In un momento storico caratterizzato anche dai fenomeni pandemici, l'ecosistema deve essere inteso come pianeta ma anche come economia e più in generale come contenitore di benessere sociale.

La Social-LCA e la SO-LCA possono essere utilizzate come strumento di gestione al servizio del management al fine di identificare i potenziali rischi legati alla sostenibilità e implementare azioni di mitigazione che possono migliorare le prestazioni.

In sintesi la ricerca è riconducibile a tre aree di impatto:

1. Impatto scientifico: La metodologia proposta, dopo il lancio della nuova Linea Guida 2020, avrà sicuramente una diffusione su scala internazionale. Proprio per questo, l'applicazione della Social-LCA e del nuovo modello SO-LCA al settore agroalimentare consentirà di acquisire un vantaggio dal punto di vista della ricerca in un settore in cui la metodologia risulta poco diffusa. Una piattaforma italiana e un database che ne

supporta la sua applicazione permetteranno di aiutare lo sviluppo della ricerca in questo ambito, favorendone la diffusione. Infatti, la metodologia si sta avviando verso una la standardizzazione ISO. Gli attuali database a supporto (Social Hotspot database e Psilca database) contengono dati globali e non cite-specific. Il nostro intento è invece quello di avere a disposizione dati italiani e specifici per il settore per un settore produttivo strategico e trasversalmente importante per altri settori di punta italiani (come ad es. il turismo ed in particolare il turismo enogastronomico).

Nel dettaglio, la piattaforma sarà basata sulla dashboard (Poconi et al, 2021). La dashboard fornisce un toolbox per indirizzare i processi decisionali e le strategie attraverso l'uso mirato di indicatori rispetto al contesto dell'applicazione della sostenibilità (Arcese, Fortuna e Pasca, 2023). Inoltre, consente di evidenziare gli aspetti mancanti relativi a (1) nuovi indicatori non coperti dallo strumento; (2) nuovi ambiti non ancora esplorati in letteratura; e (3) la necessità di adottare indicatori trasversali. In dettaglio, per quanto riguarda gli aspetti sociali, gli indicatori proposti sono analisi qualitative che prendono a riferimento il benessere umano, le condizioni dei lavoratori, la partecipazione e l'inclusione sociale, l'approccio della disponibilità a pagare o la soddisfazione del cliente.

2. Impatto tecnologico: le ricadute della ricerca sono legate alla diffusione della metodologia su scala locale nel territorio italiano. Con

l'aumento delle applicazioni e degli studi nazionali sarà possibile incrementare le schede prodotto e i dati disponibili, innescando un circolo virtuoso di sviluppo tecnologico dello strumento, con aumento dei campi di applicazione e di utilizzo dello stesso, perfezionandolo attraverso un miglioramento continuo ed un sistema di feedback in piattaforma. Per rendere l'idea dell'impatto tecnologico della ricerca è necessario far riferimento ad alcuni esempi internazionali come le aziende startup nate dalla costruzione dei database S-LCA come Newheart (USA) e Green Delta (Germania), oggi aziende che si occupano della diffusione dei database internazionali e di sviluppo della metodologia.

Infine,

3. L'Impatto socio-economico: la presenza di un supporto in termini di piattaforma e database nazionale e specifico per il settore agroalimentare permetterà lo sviluppo di Studi social-LCA locali con un aumento di valutazioni anche per le PMI. Lo strumento sarà disponibile per le Associazioni di categoria, i consumatori, utile ad identificare in un modo più semplice l'impatto social delle scelte di consumo. La società in generale e tutti gli stakeholder potranno acquisire una maggiore coscienza e consapevolezza dell'impatto sociale e della sua importanza. Per quanto riguarda il

mondo produttivo e industriale (incluso l'ampio panorama delle PMI) il database rappresenta uno strumento tecnico molto utile a supporto dell'ottenimento anche delle certificazioni di valutazione di impatto sociale e rappresenta il benchmark per il miglioramento competitivo delle aziende. L'approccio LCT è infatti alla base oramai delle certificazioni comunitarie, fortemente suggerito dalla Commissione Europea. Ancora più nel dettaglio, anche nel contesto della che incentiva il dialogo e la stretta cooperazione tra stakeholders per realizzare gli obiettivi del regolamento sulla tassonomia dell'UE e, in definitiva, del Green Deal europeo e degli obiettivi climatici dell'UE per il 2030 e il 2050 si sta lavorando verso l'introduzione di indicatori sociali di sostenibilità.

Inoltre, per quanto direttamente concerne gli operatori del settore produttivo, una maggiore conoscenza della reale entità degli impatti sociali di una pratica agroalimentare, ed in particolare di quali fasi del processo produttivo sono più critiche, potrebbe portare ad un miglioramento delle condizioni di lavoro e di salute in generale.

Bibliografia

- ARCESE, G., FORTUNA, F., PASCA M.G. (2023). The sustainability assessments of the supply chain of agri-food products: the integration of socio-economic metrics. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 100782.
- ARCESE, G., LUCCHETTI, M.C., MASSA, I. (2017). Modeling social life cycle assessment framework for the Italian wine sector. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1027-1036.
- ARCESE, G., LUCCHETTI, M.C., MERLI, R. (2013). Social life cycle assessment as a management tool: methodology for application in tourism. *Sustainability*, 5(8), 3275-3287.
- ARCESE, G., LUCCHETTI, M.C., MASSA, I., VALENTE, C. (2018). State of the art in S-LCA: integrating literature review and automatic text analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(3), 394-405.
- BENOÎT-NORRIS, C., VICKERY-NIEDERMAN, G., VALDIVIA, S., FRANZE, J., TRAVERSO, M., CIROTH, A., MAZIJN, B. (2011). Introducing the UNEP/SETAC methodological sheets for subcategories of social LCA. *The international journal of life cycle assessment*, 16(7), 82-690.
- DO CARMO, B.B.T., GARRIDO, S.R., ARCESE, G., LUCCHETTI, M.C. (2020). Weighting and scoring in Social Life Cycle Assessment. In *Perspectives on Social LCA* (pp. 45-52). Springer, Cham.
- DO CARMO, B.B.T., MARGNI, M., BAPTISTE, P. (2017). Addressing uncertain scoring and weighting factors in social life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(10), 1609-1617.
- ISO 14001, 2015. Environmental management systems – Requirements with guidance for use.
- ISO 14040, 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. Norris, G.A., 2006.
- ISO 26000, 2008. Guidance on Social Responsibility, Draft ISO/CD 26000 - 2008 -, International Organization for Standardization.
- JØRGENSEN, A., LE BOCQ, A., NAZARKINA, L., HAUSCHILD, M. (2008). Methodologies for social life cycle assessment. *The international journal of life cycle assessment*, 13(2), 96.
- LUCCHETTI, M.C., ARCESE, G., MARTUCCI, O., MONTAUTI, C. (2019). Risk Assessment and Environmental Impacts: Economic and Social Implications. In *The Future of Risk Management, Volume I* (pp. 109-129). Palgrave Macmillan, Cham.
- LUCCHETTI, M.C., ARCESE, G., TRAVERSO, M., MONTAUTI, C. (2018). S-LCA applications: A case studies analysis. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 74, p. 10009). EDP Sciences.

- MARTÍNEZ-BLANCO, J., LEHMANN, A., CHANG, Y.J., FINKBEINER, M. (2015). Social organizational LCA (SOLCA) – a new approach for implementing social LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(11), 1586-1599.
- POPONI, S., ARCESE, G., PACCHERA, F., MARTUCCI, O. (2022). Evaluating the transition to the circular economy in the agri-food sector: Selection of indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 176, 105916.
- RAMIREZ, P.K.S., PETTI, L., HABERLAND, N.T., UGAYA, C.M.L. (2014). Subcategory assessment method for social life cycle assessment. Part 1: methodological framework. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 1515-1523.
- TOKEDE, O., TRAVERSO, M. (2020). Implementing the guidelines for social life cycle assessment: past, present, and future. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1-20.
- UNEP, (2020). *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020*. Benoît Norris, C., Traverso, M., Neugebauer, S., Ekener, E., Schaubroeck, T., Russo Garrido, S., Berger, M., Valdivia, S., Lehmann, A., Finkbeiner, M., Arcese, G. (eds.). United Nations Environment Programme (UNEP).
- UNEP, (2021). *Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA) 2021*. Traverso, M., Valdivia, S., Luthin, A., Roche, L., Arcese, G., Neugebauer, S., Petti, L., D'Eusano, M., Tragnone, B.M., Mankaa, R., Hanafi, J., Benoît Norris, C., Zamagni, A. (eds.). United Nations Environment Programme (UNEP).

Valutazione dell'impatto ambientale e dei vantaggi economici della produzione di bioidrogeno da rifiuti agroalimentari

Ilaria Goglia

Università degli Studi Roma Tre

Alessia Acampora

Università degli Studi Roma Tre

Roberto Merli

Università degli Studi Roma Tre

ABSTRACT

Questo articolo esamina la produzione di bioidrogeno come fonte energetica sostenibile e rinnovabile attraverso la conversione di rifiuti agroalimentari in biomassa. Sfruttando processi termochimici o biologici intermedi, come la steam reforming del biomethane, la dark fermentation e la digestione anaerobica, è possibile estrarre idrogeno dalla biomassa ottenuta da scarti agricoli, organici, acque reflue e letame. Il bioidrogeno prodotto può essere direttamente integrato nei sistemi energetici esistenti, fornendo energia elettrica rinnovabile e combustibile sostenibile. L'articolo si propone di valutare l'impatto ambientale e i benefici economici derivanti dalla produzione di bioidrogeno da rifiuti agroalimentari. Attraverso una revisione critica della letteratura scientifica esistente, verranno identificati i tipi di scarti più idonei per la produzione efficiente di bioidrogeno. Saranno considerati anche i potenziali benefici ambientali, come la riduzione delle emissioni di gas serra e l'inquinamento, oltre alla valutazione della fattibilità economica e delle opportunità di mercato del bioidrogeno come alternativa energetica. I risultati di questa ricerca dimostrano che la gestione sostenibile dei rifiuti agroalimentari, attraverso la produzione di bioidrogeno, può contribuire a un maggiore controllo dell'inquinamento e all'efficienza delle risorse. Tuttavia, sono evidenziate anche alcune sfide, come l'efficienza dei processi di conversione e l'aumento dei costi. In conclusione, l'articolo sottolinea l'importanza di ulteriori progressi nella ricerca e nello sviluppo delle tecnologie per rendere il bioidrogeno un vettore energetico conveniente e sostenibile. Ciò contribuirà a promuovere una transizione verso un'economia circolare, in cui i rifiuti agroalimentari vengono valorizzati per la produzione di energia pulita, conciliando sostenibilità ambientale ed economica.

KEYWORDS: bioidrogeno, scarti alimentari, settore agroalimentare, biomassa, rifiuti, produzione sostenibile.

1 Introduzione

Nel contesto di crescenti preoccupazioni ambientali e della necessità di sviluppare fonti di energia sostenibile, la produzione di bioidrogeno da rifiuti agroalimentari ha suscitato un interesse sempre crescente nella comunità scientifica e industriale. Tra le diverse fonti rinnovabili ad oggi esistenti, la biomassa è una valida soluzione per sostituire i combustibili fossili e risolvere il problema degli ingenti scarti alimentari, incrementando al contempo la produzione di bioenergia in modo ecologico. Tali rifiuti possono infatti, essere utilizzati per produrre idrogeno da processo biologico, altresì chiamato bio-idrogeno, il quale deriva da un processo di conversione microbica svolta da batteri in grado di sintetizzare idrogeno attraverso una reazione enzimatica (Yasin et al., 2013). In questo modo le risorse esistenti vengono preservate, non viene aumentata la pressione sugli habitat naturali e così la biodiversità viene garantita.

I dati relativi alla generazione e alla gestione dei rifiuti agroalimentari rivestono un'importanza cruciale nell'ambito della produzione di bioidrogeno. Questi rifiuti rappresentano una considerevole porzione del flusso globale dei rifiuti, e la loro corretta gestione è fondamentale per prevenire impatti ambientali negativi. I dati mostrano che su un totale di 127 kg di rifiuti alimentari (annualmente prodotti pro capite nell'Unione Europea) il 55% di questi, ovvero 70 kg, è rappresentato esclusivamente da consumi domestici. Il restante 45% è ulteriormente suddiviso: il 18% deriva dal settore food & beverage, l'11% dal settore primario, il 9% dalla ristorazione, mentre il 7% dal retail e distribuzione (Eurostat, 2022). Secondo i dati raccolti dalla FAO, risulta che a livello mondiale circa un terzo del cibo prodotto viene sprecato (FAO, 2022). In termini economici si stima che lo spreco alimentare odierno costi 230 miliardi \$, valore che è destinato ad aumentare a 1,5 trilioni \$ nel 2030 in seguito ad un incremento del 40% degli sprechi (BCG, 2023). In termini di impatto ambientale, l'8-10% delle emissioni globali di gas ad effetto serra sono causate dagli scarti alimentari; in particolare, il 3,8% deriva dal metano prodotto dalla fermentazione degli scarti organici nelle discariche (UNEP, 2021). Tutti questi rifiuti agroalimentari, che contengono principalmente amido, proteine, grassi e cellulosa, costituiscono una fonte di bio-energia potenziale enorme, anche grazie alle tecnologie già esistenti (Zong Wenming, 2009). Questi dati sono altamente significativi per il settore delle risorse energetiche: gli scarti agroalimentari possiedono caratteristiche vantaggiose, sono materiali sicuri e puliti, caratterizzati da un'elevata intensità energetica e sono disponibili illimitatamente. Tutte queste caratteristiche contribuiscono a renderli ideali per la produzione di combustibili e la creazione di sostanze chimiche (Yeo-Myeong Yun, 2018). La produzione di bio-idrogeno da elementi organici con un elevato

tasso di biodegradabilità è altamente più vantaggiosa ed efficiente rispetto alla produzione mediante biomassa da substrato legnoso (Chunjie Gong, 2021). In particolare, grazie ad alghe e specifici batteri è possibile produrre idrogeno con l'impiego di poca energia e a condizioni ambientali standard (SATP) (Tenca, 2011). Esistono quattro principali processi di produzione di idrogeno biologico (Kothari Richa S.D., 2012). Il primo, la bio-fotolisi diretta, permette di trasformare le acque reflue in bio-idrogeno, usando la luce solare e di microalghe e cianobatteri. Con questa reazione il 22% dell'energia solare viene direttamente trasformata in idrogeno (Tenca, 2011). Il secondo è il processo di fotofermentazione delle componenti organiche che sfrutta l'energia luminosa ad ampio spettro e i batteri fotosintetici per produrre idrogeno biologico. Questa tipologia di reazione sfrutta una tecnologia sempre più di primaria importanza, in quanto permette di avere una resa di produzione di idrogeno significativamente maggiore rispetto alla tradizionale elettrolisi dell'acqua, e di trasformare i composti chimici di scarto in prodotti dal grande valore (Moras, 2022). La terza tipologia di processo sfrutta il fenomeno della fermentazione oscura, attraverso questa reazione i substrati ricchi di carboidrati vengono scomposti in idrogeno e altri sottoprodotti preziosi come acidi lattici e acetici. La reazione avviene attraverso l'azione di batteri anaerobici, totalmente in assenza di energia luminosa e ossigeno. Al contrario delle altre tipologie di reazione, la fermentazione oscura ha una resa molto alta: è in grado di convertire circa il 40% dell'energia chimica delle acque reflue in idrogeno. Ad oggi, quindi, si configura come la più efficiente e la maggiormente realizzabile tra le tecnologie esistenti, con un elevato valore commerciale a basso costo. L'ultimo e quarto processo è un'ibridazione di due fasi: fotofermentazione e fermentazione oscura vengono combinate direttamente o in serie; in questo modo la resa complessiva della produzione di idrogeno viene largamente migliorata. L'obiettivo di questa ricerca è quello di verificare se dal punto di vista economico ed ambientale il bio-idrogeno da scarti agroalimentari sia in grado di rivelarsi un'alternativa rinnovabile fondamentale per la transizione energetica verso fonti sostenibili. Nel dettaglio si intende comprendere quali tipologie di rifiuti e quali processi accrescono la resa di bio-idrogeno nei processi di produzione.

2 Revisione della letteratura

La letteratura esistente si compone di numerosi studi sulla ricerca e l'analisi delle distinte caratteristiche fisico-chimiche dei diversi rifiuti alimentari adatti alla produzione di bio-idrogeno. Negli studi di Vikayaragha- van K. (2006) e Yasin N.H.M. (2013) sono stati messi a confronto diversi

tipi di rifiuti alimentari, dal momento che non tutti i macronutrienti sono idonei ed efficienti per i processi esistenti. Prendendo in considerazione le caratteristiche dei vari rifiuti, è stata sviluppata un'analisi per capire quali tipi di materiali hanno una resa di produzione maggiore: gli scarti ricchi di carboidrati si sono rivelati avere un maggiore rendimento, tra l'80 e 86%, e velocità per la produzione di bio-idrogeno, rispetto agli altri componenti quali proteine, grassi e cellulosa che possono essere comunque usate come materia prima (Lay, 2003). Partendo dai lipidi il processo risulta più lento in quanto vengono maggiormente consumati i batteri responsabili della produzione di idrogeno. A loro volta le proteine hanno un tasso di degradazione minore rispetto ai precedenti, risultando a volte incompleto (Vidal, 2000). La cellulosa, grazie all'elevato contenuto di zuccheri potrebbe altresì rivelarsi adatta alla produzione di bio-idrogeno, tuttavia a causa della struttura rigida e cristallina delle molecole ne rende difficile la degradazione (Lee, 2008). In questi casi è possibile intervenire sul rendimento del processo modulando le condizioni dell'ambiente; infatti, un ambiente controllato è in grado di limitare la crescita dei batteri che consumano l'idrogeno rilasciato dalla fermentazione, favorendo la crescita di quelli produttori (Kim, 2008). Nello specifico Yasin N.H.M. (2013) ha individuato e analizzato i fattori su cui si può intervenire per rendere il processo più efficiente. Il pretrattamento, il quale va a modificare la popolazione delle colonie batteriche, è in grado di influenzare la produzione di acido organico con una bassa resa in bio-idrogeno. Il pH influenza l'attività enzimatica, i processi metabolici e conseguentemente il tasso di generazione di bio-idrogeno, un livello ideale è compreso tra 5,5 e 6,0 (Kothari Richa S. D., 2012). La temperatura è uno dei parametri fondamentali che influenzano la produzione, infatti utilizzare una temperatura mesofila, tra i 30 e i 37°C, permette di accelerare il tasso di crescita dei batteri produttori di idrogeno, richiedendo meno energia e risultando al contempo in una diminuzione di costo, tuttavia una temperatura termofila, superiore a 55°C, permette di raggiungere un rendimento maggiormente efficiente, ma il processo nel completo risulta più costoso.

Empiricamente le industrie che si avvicinano a un'idoneità nel processo di produzione di idrogeno biologico sono l'industria alimentare, le industrie di lavorazione della carne, casearie, lavorazione del pesce, lavorazione dell'amido, zuccherifici, industrie delle bevande, distillerie, aziende agricole e torrefazioni. A livello di individuazione dei maggiori attori nel settore troviamo gli Stati Uniti, come maggiori produttori di prodotti caseari e latticini, l'India che, grazie ad una coltivazione intensiva di canna da zucchero, all'incirca 4 milioni di ettari di terreno coltivati, è seconda solo al Brasile (Richa Kothari, 2012).

Che le industrie alimentari siano le più adatte alla produzione del bio-idrogeno emerge dagli studi nel campo che hanno evidenziato come in

particolare le acque reflue dispongono di un elevato livello di materiale organico facilmente degradabile, questo si traduce in bilancio energetico positivo che richiede meno energia e soddisfa la maggior parte dei criteri per il substrato: disponibilità, costo e biodegradabilità (Kothari Richa S. D., 2012). Kothari et al. (2012), hanno sintetizzato in una tabella la resa di produzione di H₂ attraverso l'utilizzo di un bioreattore a membrana, a partire da diverse materie prime. Dallo studio è risultato che l'impiego di acque reflue è più efficiente degli zuccherifici, seguite da quelle della lavorazione del riso e di noodles, mentre ad avere una resa minore sono quelle derivanti dalle distillerie e dalla lavorazione alimentare. Nella revisione condotta da Teeraya Jarunglumlert (2018) è stato analizzato il potenziale della produzione di idrogeno attraverso fermentazione oscura selezionando diverse miscele. La prima miscela presa in considerazione è di pane e pasta, che ricchi di carboidrati hanno reso 152-167 mL H₂, la seconda è un misto di carne, pesce e formaggio che ha reso solamente 0,8-5 mL H₂. Le ultime due miscele, di frutta e verdura, hanno ottenuto rispettivamente 149-188 mL H₂, utilizzate per intero, al contrario l'uso della sola buccia e radici hanno dei rendimenti nettamente inferiori a 10-30 mL H₂. È stato dimostrato a livello pratico che i rifiuti agroalimentari ricchi di carboidrati risultano nettamente significativi per la produzione di idrogeno, 16-20 volte superiore all'utilizzo di scarti ricchi di proteine e grassi.

Uno studio ulteriore mette a confronto le celle elettrolitiche microbiche, per la produzione biologica di idrogeno da biomassa (MEC), con una cella elettrolitica con membrana a scambio protonico (PEMEC) largamente in uso nei processi termochimici. A livello di individuazione di vantaggi e svantaggi, c'è da dire che nel caso delle MEC seppur vi sia un alto tasso di produzione di idrogeno a parità di basso consumo energetico, il bio-idrogeno è caratterizzato da una bassa purezza e ne scaturisce il rilascio di metano. La principale barriera è tuttavia caratterizzata dal catalizzatore estremamente costoso. Nel caso delle PEMEC l'idrogeno prodotto presenta un'elevata purezza con un basso consumo energetico, ma vi è un'elevata resistenza interna e un costo elevato per la produzione (M.G. Eloffy, 2022).

L'analisi macroeconomica portata avanti da Lee Duu-Hwa (2012) ha preso in esame Stati Uniti, Cina, Giappone e India per identificare il loro ruolo rispetto ad un'economia del bio-idrogeno. Gli elementi presi in considerazione per la valutazione di analisi sono: la predisposizione alla produzione, la disponibilità di materia prima, la possibilità di investimenti, la sostituibilità dei combustibili fossili e l'andamento economico generale. Si ipotizza che il più grande mercato di idrogeno biologico si svilupperà in Cina, mentre l'India, potendo contare sull'agricoltura, godrà della maggior parte degli investimenti; il Giappone sarà in grado di sostituire i combustibili fossili con idrogeno e bio-idrogeno nel breve termine visto la grande

predisposizione all'utilizzo delle rinnovabili e la forte innovazione del settore. La crescente domanda internazionale di biocarburanti non coinvolge solo i paesi pilastri dell'innovazione, ma comincia ad essere di particolare interesse anche per i Paesi in via di sviluppo, i quali stanno cercando nuove opportunità di crescita economica e commerciale. I Paesi in via di sviluppo possiedono un vantaggio significativo nell'attuazione del processo: la produzione di biocarburanti è favorita, dalla maggiore disponibilità di terreno che rende quindi più redditizio lo sfruttamento del suolo, da un inferiore costo del lavoro e da condizioni climatiche favorevoli all'agricoltura, che stimola una maggiore produzione di prodotti agricoli e quindi anche di biomassa che verrà convertita poi in idrogeno. Altri vantaggi nel produrre idrogeno da biomassa sono stati identificati dallo studio di Balat Mustafa (2009). Secondo questo studio le varie città e più in generali gli Stati beneficeranno di una netta riduzione dei costi di gestione dei rifiuti, l'utilizzo di quest'ultimi come materia prima per la produzione di idrogeno può alleggerire la spesa aggiungendo valore come sottoprodotto (Kotay Shireen Meher, 2008). Al contempo le aziende agroalimentari vedranno un aumento del reddito dalla conversione dei rifiuti in energia e una riduzione delle emissioni di anidride carbonica grazie all'uso di biomassa sostenibile. Il processo contribuirà inoltre su larga scala alla decarbonizzazione e all'impiego di risorse rinnovabili in sostituzione ai combustibili fossili ampiamente ancora utilizzati.

Sfortunatamente persistono delle barriere allo sviluppo competitivo e produzione su larga scala legate principalmente al costo delle materie prime e alla resa di processo nella produzione di idrogeno. Nel primo caso il costo deriva dai substrati necessari ai processi di fermentazione e digestione anaerobica, insieme al costo del sistema di conversione energetica. Ad influenzare il costo dell'idrogeno in tale contesto sono gli OPEX, ovvero i costi operativi, il CAPEX, ovvero il costo del capitale e i costi di trasporto e distribuzione (Chunjie Gong, 2021). La principale fonte di fattibilità antieconomica proviene dal capitale e dai costi operativi della foto-fermentazione. Tali costi, tuttavia, sono più sostenibili con l'aumentare della scala di produzione: è stato dimostrato che un impianto da 100 m³ ha un rendimento di 81, al contrario un impianto di 400 m³ ha un ROI di 30. (Tee-*raya Jarunglumlert*, 2018). Per quanto riguarda la seconda limitazione, dobbiamo fare riferimento alla mancanza di tecnologie adatte, attualmente l'efficienza di conversione della biomassa si aggira intorno al 15-20%, spesso instabile, dovuta allo spostamento metabolico dei batteri produttori di idrogeno (Kotay Shireen Meher, 2008). Quello dell'idrogeno da rifiuti agroalimentari è un potenziale mercato in grado di recuperare gran parte dei costi relativi allo smaltimento, dando nuova vita agli scarti come materie prime secondarie e garantendo un'economia circolare.

Soffermandosi sui prezzi di bio-H₂ dobbiamo considerare che il 90% del costo è relativo esclusivamente al costo delle unità operative (Kamalpreet Kaur Brar, 2022). In termini di sostenibilità economica, il sistema ibrido sembra essere preferibile perché oltre ad essere maggiormente efficiente, il costo è stimato tra 2,5 e 2,8 \$/kg, rispetto alla fotofermentazione e alla fermentazione oscura, il cui costo è rispettivamente di 3,7 \$/kg e 18,7 \$/kg (George Melitos, 2021).

3 Metodologia

Questa ricerca analizza alcuni studi sui processi di produzione biologica di idrogeno da diverse biomasse derivanti da vari settori agroalimentari, per valutare la fattibilità dei processi esistenti e stabilire quale sia il metodo più efficiente. La considerazione degli aspetti tecnici ed economici, quali il tipo di scarto preso in considerazione, il processo utilizzato per la trasformazione della biomassa in H₂, la resa di idrogeno, i costi totali legati alla produzione e i guadagni netti, permettono di effettuare una valutazione incrociata per stabilire la fattibilità e affinità da più prospettive. Da questa analisi è possibile quindi comprendere l'avanzamento tecnologico e la predisposizione all'innovazione e sviluppo su larga scala, in grado di garantire una diminuzione di costo e il raggiungimento della competitività sul mercato.

Le voci della tabella sono state selezionate considerando diverse variabili e caratteristiche, al fine di sviluppare una panoramica completa. In primo luogo, abbiamo preso in considerazione il settore agroalimentare di riferimento e la tipologia di biomassa scelta al fine di avere delle informazioni sulla composizione del substrato e la conseguente predisposizione a essere una materia adatta ad una trasformazione efficiente. Successivamente è stato analizzato il pretrattamento che ci consente di capire se sono stati necessari passaggi ulteriori per raggiungere delle condizioni ottimali a garantire il processo. Le indicazioni circa il processo e il volume di lavoro ci permettono di comprendere la portata dell'esperimento e se la dimensione sia in scala di laboratorio o commerciale, ne deriva direttamente la scelta di considerare le quantità di idrogeno e di anidride carbonica prodotte. In ugual modo, il tempo permette di comprendere le tempistiche necessarie al processo di trasformazione della biomassa stessa in idrogeno. Infine, le altre voci della tabella sono di natura economica, vengono considerati i costi di produzione e i ricavi totali e singoli generati dalle vendite di H₂ e CO₂. Dati che insieme al ROI permettono di capire quanto sia effettivamente conveniente investire su un progetto del genere.

4 Discussione dei risultati

La tabella presenta i dati necessari ad evincere l'efficienza e capacità delle tecnologie considerate. Di seguito vengono evidenziati i dati ottenuti (Tabella 1) per poterli confrontare. Nella costruzione della tabella, lo studio di Ya-Chen Li è stato diviso in due categorie di analisi, dal momento che gli esperimenti condotti nello studio sono due.

Studio	Ya-Chen Li	Ya-Chen Li	Vatsala T.M.	Wei Han J.Z.
Anno	2012	2012	2008	2016
Settore	Beverage	Agricoltura	Distillerie	Mensa
Tipologia di biomassa	Acque reflue	Scarti	Acque reflue	Rifiuti organici
Pre-trattamento	No	Si, idrolisi acida 40 min	No	Si, in condizioni mesofile
Processo	Fermentazione oscura	Fermentazione oscura	Digestione anaerobica	Fermentazione oscura
Volume lavoro	10 m ³	10 m ³	100 m ³	3 tonnellate
Idrogeno prodotto	6.000 m ³	500 m ³	21,38 kg	42.858 m ³
CO ₂ prodotta	700 m ³	1700 m ³	-	64.28 m ³
Tempo	4 ore	4 ore + pretrattamento	40 ore	6 ore + pretrattamento
Costo produzione	71.000 \$	79.000 \$	39.082 \$	88.298 \$
Costo del capitale	1.615.000 \$	1.227.000 \$	44.440 \$	583.092 \$
Ricavi vendita H ₂	16.000 \$	4.000 \$	37.070 \$	115.716 \$
Ricavi vendita CO ₂	2.000 \$	1.000 \$	-	19.286 \$
Profitto annuale	18.000\$	5.000 \$	37.070 \$	146.473 \$
ROI	-76%	-96%	-	26%

Tabella 1 – Analisi e valutazione degli studi individuati in quattro settori agroalimentari

Ya-Chen Li, et al. (2012) hanno analizzato due tipologie di scarti, le acque reflue dell'industria delle bevande e i rifiuti agricoli. Le prime presentano condizioni ottimali senza la necessità di incorrere in trattamenti e attraverso il processo di fermentazione oscura è stata prodotto idrogeno di-

rettamente; al contrario, nel secondo caso è stato necessario pretrattare la materia prima dei rifiuti agricoli con un processo di idrolisi acida che ha portato solo in seguito alla produzione di idrogeno. Il bio-idrogeno purificato è poi stato utilizzato per produrre elettricità ed energia termica, mentre la CO₂ emessa è stata utilizzata dalle industrie alimentari. Nella loro simulazione con un volume di lavoro di 10 m³, le acque reflue in seguito alla fermentazione oscura hanno prodotto 27,37 L/d/L di bio-idrogeno dopo 4 ore; invece, sempre con un volume di lavoro di 10 ml, i rifiuti agricoli dopo un pretrattamento e processo ibrido, hanno prodotto 4,38 L/d/L in circa 40 minuti. Dalla loro attenta analisi è risultato che a parità di condizioni il secondo processo risulta più oneroso rispetto al primo, rispettivamente 71.000 \$ e 79.000 \$, l'eccesso di costo deriva infatti dal pretrattamento e da costi dell'attrezzatura più elevati. Il costo del capitale richiesto è stato rispettivamente stimato a 1.615.000 \$ per l'industria beverage e 1.227.000 \$ per il settore agricolo. Sempre nella stessa analisi sono poi stati stimati i ricavi si suddividono in corrispettivi di vendita di idrogeno e di vendita di anidride carbonica. Partendo dalle acque reflue il processo di fermentazione porta alla produzione di un quantitativo di H₂ maggiore rispetto a quello della CO₂, quindi si genereranno dei ricavi maggiori, pari ad un totale di 18.000 \$ annui. Al contrario, nel processo da scarti agricoli dove le quantità prodotte sono invertite, si generano dei ricavi nettamente inferiori, per 5.000 \$ all'anno. Il risultato ottenuto è una produzione non conveniente su piccola scala, tenendo conto del ROI, bisognerà avere degli impianti in scala maggiore per avere dei profitti maggiormente consistenti. Nel complesso, dai risultati ottenuti risulta comunque evidente come il bio-idrogeno da acque reflue sia maggiormente redditizio rispetto a quello da scarti agricoli.

Un ulteriore studio condotto da Vatsala T.M., (2008) ha analizzato il potenziale di produzione di bioenergia a partire dai rifiuti delle distillerie, che sono noti per essere di natura acida e difficili da smaltire. Nel dettaglio per ogni litro di alcol distillato vengono prodotti 10-12 litri di acque reflue, che possono essere trasformate tramite digestione anaerobica. Tuttavia, è stato dimostrato che su una scala di 100 m³ la resa di idrogeno è stata di 21,38 kg in 40 ore. Questo deriva dal fatto che in assenza di ossigeno per ottenere la resa massima ed efficienza di conversione sia necessario utilizzare sostituti quali argon o azoto, che rendono il processo oneroso ed antieconomico per la produzione su scala commerciale. In termini economici il costo totale per la produzione annua di idrogeno a partire da acque reflue zuccherine delle distillerie è di 39.082\$, mentre il guadagno netto derivante è di 37.070\$.

Analogamente, è stato condotto uno studio per valutare la fattibilità tecnico economica di un processo di produzione di bio-idrogeno tramite

fermentazione oscura da rifiuti alimentari pretrattati (Wei Han J. Z., 2016). Gli scarti organici utilizzati come materia prima sono i rifiuti provenienti da una mensa universitaria, che sono stati miscelati, ad eccezione di ossa e conchiglie, ed analizzati. Riportavano le seguenti caratteristiche: 42% di carboidrati, 40% di amido, 10,5% di proteine e 6,2% di lipidi (Wei Han M. Y., 2015). È stato costruito un impianto in grado di convertire 3 tonnellate al giorno di scarti in idrogeno, grazie ad un processo combinato di fermentazione con pretrattamento in condizioni mesofile per 4 giorni. La produzione di 42.858 m³ H₂/anno richiede un costo del capitale di 583.092\$ e un costo di produzione annuale di 88.298 \$. La redditività annuale per la produzione di idrogeno è di 115.716 \$, quello della CO₂ è di 19.286 \$, complessivamente il profitto annuale netto generato dall'impianto è di 146.473 \$. Avendo un Roi del 26% si è calcolato un con un pay-back di 5 anni.

I risultati presentati dagli studi condotti forniscono un quadro dettagliato delle sfide e delle opportunità legate alla produzione di bioidrogeno da diverse fonti di rifiuti. In particolare, l'analisi di Ya-Chen Li, et al. (2012) evidenzia che le acque reflue dell'industria delle bevande offrono un processo più efficiente e redditizio per la produzione di bioidrogeno rispetto ai rifiuti agricoli. La fermentazione oscura di queste acque reflue genera un quantitativo significativo di bioidrogeno, con maggiori ricavi derivanti dalla vendita dell'idrogeno rispetto alla CO₂ prodotta. Tuttavia, la scala di produzione risulta essere un fattore determinante per la redditività complessiva dell'operazione.

Nel caso delle acque reflue delle distillerie presentato da Vatsala T.M., (2008), invece, l'efficienza di produzione di idrogeno attraverso la digestione anaerobica è stata dimostrata, ma il processo risulta oneroso su larga scala a causa dell'uso di gas sostitutivi e delle difficoltà legate all'assenza di ossigeno. Inoltre, l'analisi economica mette in luce che il costo totale per la produzione annua di idrogeno è significativamente inferiore ai guadagni netti, il che solleva interrogativi sulla sostenibilità economica di tale approccio.

D'altra parte, lo studio condotto da Wei Han J. Z. (2016) dimostra che la produzione di bioidrogeno da rifiuti alimentari pretrattati è una prospettiva promettente. Il processo combina fermentazione con pretrattamento e ha dimostrato di generare un profitto netto considerevole, con un ROI del 26% e un pay-back di 5 anni. Questo dimostra che, se opportunamente pianificata e implementata su una scala appropriata, la produzione di bioidrogeno da rifiuti alimentari può essere un investimento economicamente vantaggioso.

In sintesi, questi risultati sottolineano l'importanza di considerare attentamente i processi di produzione, i costi di capitale e la scala di ope-

razione quando si valuta la fattibilità economica della produzione di bioidrogeno da rifiuti. Sebbene siano emerse sfide significative, questi studi suggeriscono che con la giusta progettazione e gestione, la produzione di bioidrogeno da rifiuti può essere una fonte sostenibile ed economicamente redditizia di energia. Tuttavia, rimane essenziale considerare attentamente le variabili specifiche del processo e delle materie prime coinvolte per garantire il successo a lungo termine di tali iniziative.

5 Conclusioni

L'importanza di sviluppare tecnologie sostenibili per la produzione di bioidrogeno da rifiuti agroalimentari risiede nella duplice capacità di affrontare la gestione dei rifiuti e fornire una fonte di energia pulita, contribuendo così a mitigare le sfide ambientali e energetiche del nostro tempo. Il vantaggio di applicare questa strategia nel settore dell'industria agroalimentare è notevole. Un'industria di questo tipo è in grado di creare un tipo di rifornimento energetico autonomo con l'impiego del bio-idrogeno: il fabbisogno energetico dell'impianto industriale viene garantito dalla stessa produzione: gli scarti alimentari che non vanno a considerarsi parte del prodotto finito entrano in un circolo di trasformazione che le porta al raggiungimento finale del biocarburante. In un'ottica di economia circolare gli scarti diverrebbero quindi la materia prima di un nuovo processo. L'energia termica esogena dei processi può inoltre venire utilizzata per l'alimentazione diretta dei processi che richiedono calore come reagente di reazione. Abbiamo visto che per produrre efficientemente il bio-idrogeno conviene utilizzare scarti ricchi di carboidrati, in grado di velocizzare l'idrolisi nel processo di digestione anaerobica. Tuttavia, a livello commerciale questa tecnologia non trova, al giorno d'oggi, vasta applicazione. Le cause si possono rivedere nei problemi che riguardano il processo della sua produzione: bassa resa e costi proibitivi. Dalle ricerche effettuate sul campo finora risulta che il bio-idrogeno prodotto tramite i processi di fermentazione oscura e fotofermentazione non è sufficiente per essere impiegato in applicazioni industriali a causa della bassa efficienza di conversione energetica, intorno al 10%. Una resa veramente troppo bassa per giustificare gli enormi costi necessari a mantenere le tecnologie e far avvenire il processo. Si prospetta che ulteriori ricerche scientifiche e di ingegneria metabolica siano in grado di superare queste barriere e rendere il bio-idrogeno un'alternativa sostenibile e rinnovabile economica e competitiva. Inoltre, la ricerca nel settore non sembra essere fortemente interessata a promuoverlo come vettore energetico, contribuendo a dirottare i fondi disponibili per approfondire lo sviluppo e la ricerca su altre fonti energetiche a basso costo a discapito del loro

impatto ambientale. La priorità degli investimenti è uno degli obiettivi principali, collaborazione e cooperazioni internazionali sono la base di partenza per una buona riuscita del processo di innovazione tecnologica e delle infrastrutture specifiche per il bio-idrogeno, con l'intento di renderle sempre più affidabili, competitive ed economiche ma pur sempre in grado di massimizzare la produzione del biocarburante e di contribuire a creare attorno a questo vettore energetico un'economia sostenibile.

Ringraziamenti

Progetto ECS 0000024 Rome Technopole, – CUP B83C22002820006, PNRR Missione 4 Componente 2 Investimento 1.5, finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU”.

References

- BALAT MUSTAFA, B.M. (2009). Political, economic and environmental impacts of biomass-based hydrogen. *Hydrogen Energy*, 3589-3603.
- BCG. (2023, Agosto 23). *Closing the Food Waste Gap*. Tratto da BCG: <https://www.bcg.com/featured-insights/closing-the-gap/food-waste>
- BNEF. (2020). *Hydrogen Economy Outlook*.
- CHUNJIE GONG, A.S. (2021). Anaerobic Digestion of Agri-Food Wastes for Generating Biofuels. *Indian Journal of Microbiology volume*, 427-440.
- EUROSTAT. (2022, Ottobre 25). *Food waste: 127 kg per inhabitant in the EU in 2020*. Tratto da European Union: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220925-2>.
- FAO. (2022). *The State of Food Security and Nutrition in the World (SOFI)*. Roma.
- GEORGE MELITOS, X.V. (2021). Waste to Sustainable Biohydrogen Production Via Photo-Fermentation and Biophotolysis – A Systematic Review. *Renew. Energy Environ. Sustain*.
- KAMALPREET KAUR BRAR, A.A.-H. (2022). An overview on progress, advances, and future outlook for biohydrogen production technology. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37264-37281.
- KIM, D.K. (2008). Start-up strategy for continuous fermentative hydrogen production: early switchover from batch to continuous operation. *Hydrogen Energy*, 1532-1541.
- KOTAY SHIREEN MEHER, D.D. (2008). Biohydrogen as a renewable energy resource – Prospects and potentials. *International Journal of Hydrogen Energy*, 258-263.
- KOTHARI RICHA, S.D. (2012). Fermentative hydrogen production – An alternative clean energy source. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2337-2346.
- KOTHARI RICHA, T.V. (2010). Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3164-3170.
- LAY, J.F. (2003). Influence of chemical nature of organic wastes on their conversion to hydrogen by heat-shock digested sludge. *Hydrogen energy*.
- LEE DUU-HWA, C.L.-H. (2012). Development of a biohydrogen economy in the United States, China, Japan, and India: With discussion of a chicken-and-egg debate. *International Journal of Hydrogen Energy*, 15736-15745.
- LEE, Z.L. (2008). Effect of pH in fermentation of vegetable kitchen wastes on hydrogen production under a thermophilic condition. *Hydrogen Energy*, 5234-5247.

- M.G. ELOFFY, A.M.-S. (2022). Biomass-to-sustainable biohydrogen: Insights into the production routes, and technical challenges. *Chemical Engineering Journal Advances*.
- MORAS, P. (2022, Maggio 17). *Idrogeno "green" da biomasse: un nuovo nanomateriale ne aumenta la produzione*. Tratto da Consiglio Nazionale delle Ricerche: <https://www.cnr.it/it/news/11115/idrogeno-green-da-biomasse-un-nuovo-nanomateriale-ne-aumenta-la-produzione>.
- STEFANO, D.D. (2022, febbraio 5). *Il mondo spreca un terzo del cibo che produce. Italia tra i più virtuosi nella prevenzione*. Tratto da EconomiaCircolare.com: <https://economiecircolare.com/spreco-alimentare-cibo-giornata-prevenzione/>.
- TEERAYA JARUNGLUMLERT, C.P. (2018). Scaling-up bio-hydrogen production from food waste: Feasibilities and challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*, 634-648.
- TEERAYA JARUNGLUMLERT, C.P. (2018). Scaling-up bio-hydrogen production from food waste: Feasibilities and challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*, 634-648.
- TENCA, A. (2011). *Biohydrogen production from agricultural and livestock residues within an integrated bioenergy concept*. Milano.
- UNEP. (2021). *UNEP Food Waste Index Report 2021*.
- VATSALA T.M., M.A. (2008). A pilot-scale study of biohydrogen production from distillery effluent using defined bacterial co-culture. *International Journal of Hydrogen Energy*, 5404-5415.
- VIDAL, G.C. (2000). Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bio-resource technologies*, 231-239.
- VIKAYARAGHAVAN K., A.D. (2006). Biohydrogen generation from jackfruit peel using anaerobic contact filter. *Hydrogen Energy*, 569-579.
- WEI HAN, J.Z. (2016). Techno-economic evaluation of a combined bio-process for fermentative hydrogen production from food waste. *Bioresource Technology*, 107-112.
- WEI HAN, M.Y. (2015). Batch dark fermentation from enzymatic hydrolyzed food waste for hydrogen production. *Bioresource Technology*, 24-29.
- YA-CHEN LI, Y.-F. L.-Y.-L.-W.-J.-Y. (2012). Techno-economic evaluation of biohydrogen production from wastewater and agricultural waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, 15704-15710.
- YASIN N.H.M., M.T. (2013). Food waste and food processing waste for biohydrogen production: A review. *Journal of Environmental Management*, 375-385.

- YEO-MYEONG YUN, M.-K. L.-W.-R.-G.-K.-H. (2018). Biohydrogen production from food waste: Current status, limitations, and future perspectives. *Bioresource Technology*, 79-87.
- ZONG WENMING, Y.R. (2009). Efficient hydrogen gas production from cassava and food waste by a two-step process of dark fermentation and photo-fermentation. *Biomass and Bioenergy*, 1458-1463.

Verso la costruzione di dataset italiani per l'LCA del vino: la fase di vinificazione

Manuela D'Eusanio
Università degli Studi "G. d'Annunzio"
Ioannis Arzoumanidis
Università degli Studi "G. d'Annunzio"
Andrea Raggi
Università degli Studi "G. d'Annunzio"
Lolita Liberatore
Università degli Studi "G. d'Annunzio"
Luigia Petti
Università degli Studi "G. d'Annunzio"

ABSTRACT

Il progetto Italian Life Cycle Inventory Database of Agrifoods (ILCIDAF), finanziato dal MUR (Progetto PRIN 2017), mira alla realizzazione di dataset di Life Cycle Inventory (LCI) per alcune importanti filiere agroalimentari italiane. Tra queste, quella vitivinicola ricopre un ruolo fondamentale nell'economia nazionale e nello scenario produttivo mondiale. La letteratura internazionale mostra tuttavia una carenza di dati ambientali relativi al settore vitivinicolo italiano, soprattutto a livello regionale. Nel contesto di questo progetto, vengono analizzate le diverse problematiche nella costruzione della sezione della banca dati ILCIDAF relativa alla filiera vitivinicola, riconducibili soprattutto alla complessità e alle specificità della filiera. Il presente lavoro si focalizza sulla realizzazione di dataset relativi alla fase di vinificazione del Montepulciano d'Abruzzo DOC, per la quale sono stati utilizzati dati primari raccolti sul campo presso un'azienda vitivinicola abruzzese. In particolare, si illustra la raccolta dati, i calcoli effettuati e i datasheet creati.

ABSTRACT

The Italian Life Cycle Inventory Database of Agrifoods (ILCIDAF) project, funded by the Italian Ministry of University and Research (PRIN 2017 Project), aims at the creation of Life Cycle Inventory (LCI) datasets for some important supply chains. Amongst these, the Italian wine supply chain plays a fundamental role in the national economy as well as worldwide. However, the international literature shows a lack of environmental data for the Italian wine sector, especially at a regional level. In the context of this project, various issues arise in the creation of the ILCIDAF database relating to the wine sector, especially with regard to the complexities and

the specificities of the supply chain. This contribution focuses on the creation of datasets related to the winemaking phase of the Montepulciano d'Abruzzo DOC wine, for which primary data were used through field collection at a wine firm in Abruzzo. In particular, the data collection, the performed calculations as well as the created datasheets are illustrated.

PAROLE CHIAVE: banca dati; dataset; vino; vinificazione; Montepulciano d'Abruzzo

1 Introduzione

Il settore agroalimentare è caratterizzato da sistemi complessi ed eterogenei, con carattere dinamico e caratteristiche peculiari (Arzoumanidis et al., 2013a; Tragnone et al., 2022). In tale contesto, perseguire la sostenibilità diviene una sfida complessa (Bryceson and Ross, 2020). In particolare, la filiera vitivinicola presenta un'elevata segmentazione dei prodotti, i quali variano a seconda della territorialità e caratteristiche geografiche, delle condizioni climatiche e dei vitigni stessi. In Italia, infatti, sono riconosciute oltre 600 varietà di vite (Del Rey e Piccoli, 2020), oltre 400 vini a Denominazioni di Origine Controllata/Protetta (DOC/DOP) e oltre 100 vini a Indicazione Geografica Protetta (IGP) (Ministero dell'agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste, 2023).

L'ampia diversificazione dell'ambiente pedoclimatico (D'Eusanio et al., 2022) influenza i processi di lavorazione e la gestione dei terreni (ad es.: trattamenti fitoiatrici e di concimazione) così come la resa del vigneto (Mazzei et al., 2010). Ad esempio, il processo di fertilizzazione, nonostante sia comune a tutte le tipologie di coltivazioni l'uso di azoto, fosforo e potassio, esso varia in base alla tipologia di terreno e all'ambiente climatico. Inoltre, l'eterogeneità è evidente anche nei diversi processi di vinificazione (Notarnicola et al., 2017; Rugani et al., 2013) (ad es.: la vinificazione in rosso si basa sulla macerazione delle bucce che conferiscono il colore e il tannino al vino).

Gli approcci al ciclo di vita, ed in particolare la Life Cycle Assessment (LCA) (ISO 14040:2006, ISO 14044:2006), consentono di analizzare tutti gli input e gli output relativi al ciclo di vita di un prodotto, in tal caso del vino, andandone a misurare i potenziali impatti ambientali.

Nonostante i sistemi vitivinicoli siano da anni oggetto di studi di LCA, con analisi che hanno preso in considerazione diverse fasi della filiera vitivinicola (da quella agricola a quella di trasformazione industriale e smaltimento dei rifiuti) (Ferrara e De Feo, 2018; Casolani et al., 2022), diversi aspetti metodologici rimangono ancora da esplorare. Tra questi, la qualità

dei dati di inventario, con la finalità di migliorare la coerenza, la completezza e la rappresentatività dei dati utilizzati (siano essi primari o secondari) rispetto al sistema prodotto analizzato. Per fornire dati che meglio rappresentino le peculiarità dei prodotti agroalimentari e che siano più rappresentativi, in diversi Paesi sono state sviluppate banche dati di inventario specifiche per le filiere agroalimentari (ad es.: Agribalyse in Francia; Food LC DK in Danimarca; Agrifootprint in Germania e World Food Database in Svizzera). In Italia, ad oggi, la modellizzazione di sistemi di prodotto agroalimentari è stata sviluppata soprattutto ricorrendo a dati secondari acquisiti da banche dati internazionali (ad es.: Ecoivent, GaBi) (Notarnicola et al., 2017), che, però, non forniscono dati specifici rispetto al contesto regionale analizzato. Il progetto PRIN 2017 “Promoting agri-food sustainability: development of an Italian life cycle inventory database of agri-food products” si pone l’obiettivo di creare una banca dati per i prodotti agroalimentari italiani. La banca dati “Italian Life Cycle Inventory Databases of Agrifoods” (ILCIDAF) sarà costruita per le filiere del vino, dell’olio di oliva, degli agrumi e dei prodotti derivati dal grano.

Il presente lavoro si focalizza sulla realizzazione di dataset relativi alla fase di vinificazione del Montepulciano d’Abruzzo DOC, per la quale sono stati utilizzati dati primari raccolti sul campo presso un’azienda vitivinicola abruzzese. In particolare, si illustra la raccolta dati, i calcoli effettuati e i datasheet creati.

Nella sezione successiva 1.2, verrà descritta la metodologia impiegata per la raccolta dei dati primari e dei calcoli effettuati. In seguito, nella sezione 1.3, verrà *in primis* descritta l’applicazione dei fogli di raccolta dati in un caso specifico (una azienda vitivinicola abruzzese); per poi illustrare i datasheet creati, e le relative sfide, per due processi presi in considerazione a titolo esemplificativo. La sezione 1.4 mostra le conclusioni nonché sviluppi futuri del presente lavoro.

2 Metodologia

L’approccio metodologico adottato ha richiesto, innanzitutto, la predisposizione di fogli raccolta dati relativi al processo di vinificazione analizzato (dal cancello al cancello, con esclusione della fase di imbottigliamento). I fogli raccolta dati sono stati preparati considerando il diagramma di flusso dei processi produttivi dell’azienda analizzata e che, pertanto, hanno portato alla realizzazione di datas

heet specifici per ogni prodotto, così come distinti datasheet per ciascun processo produttivo.

Nel dettaglio, il foglio raccolta è costituito da due macro-sezioni.

La prima è una sezione in cui sono descritte le caratteristiche principali della fase di produzione analizzata (ad es.: ubicazione cantina, metodo di produzione (indicare se biologico, convenzionale), denominazione della certificazione DOP, menzioni specifiche in etichetta (ad es.: riserva, riserva superiore), tipologia di uve utilizzate in relazione al vitigno. Nella seconda sezione, invece, devono essere indicati gli input e gli output relativi a ciascun processo. In questo caso, il foglio raccolta dati richiede di indicare la composizione del mix elettrico impiegato in azienda, e nel caso in cui la fonte energetica sia mista, bisogna indicarne la percentuale corrispondente.

Nella sezione degli input si descrive l'input (ad es.: uva scaricata, acqua di pulizia del macchinario, energia nastro elevatore, etc.), unità di misura (ad es.: kg, L, kW), quantità, fonte dato (cioè diretto/misurato, stimato, calcolato). Nella descrizione degli output, invece, oltre agli elementi sopra descritti, viene indicata anche la destinazione finale degli output (ad es.: i raspi possono essere sparsi nel terreno o portati in distilleria) nonché la descrizione dei mezzi di trasporto utilizzati indicando il consumo medio km/L, la distanza percorsa in km e la tipologia di carburante utilizzato. Inoltre, per calcolare le emissioni di CO₂ derivanti dal processo di fermentazione (0,09 kg di CO₂ per litro di vino prodotto) sono stati utilizzati dati di letteratura riferiti all'Italia provenienti da fonti come D'Alberti et al. (2015) e Gueddari-Aourir et al. (2022). Il calcolo del trasporto in distilleria, invece, è stato svolto moltiplicando la quantità trasportata per la distanza percorsa. Per quanto riguarda il calcolo delle emissioni relative ai trasporti dei sottoprodotti, sono state riportate le prime cinque emissioni – a titolo esemplificativo – in aria, suolo e acqua provenienti da Ecoinvent v. 3.5, prendendo in considerazione un mezzo di trasporto simile a quello indicato nel foglio raccolta dati. Relativamente, invece, ai consumi elettrici, i calcoli sono stati effettuati moltiplicando la potenza nominale di ogni macchinario per il tempo di utilizzo necessario relativo all'Unità Funzionale considerata.

3 Risultati e Discussione

Il foglio raccolta dati è stato costruito seguendo il processo di vinificazione del “Montepulciano d’Abruzzo DOC” prodotto da un’azienda vitivinicola locale. Il “Montepulciano d’Abruzzo” oggetto dell’analisi, deve rispettare le specifiche del Disciplinare di Produzione del “Montepulciano d’Abruzzo” pubblicato dalla Regione Abruzzo (Consorzio di Tutela Vini d’Abruzzo, 2023), il quale stabilisce che può essere prodotto solamente da vigneti situati in terreni di elevata qualità. Nello specifico, ad esempio, questi terreni devono trovarsi in zone collinari con altitudine non superiore ai 500 metri s.l.m., comprendendo l’intera fascia costiera e pedemontana della

regione Abruzzo. Inoltre, tale Disciplinare limita la produzione massima di uva a 14 tonnellate/ettaro e richiede che il titolo alcolometrico volumico naturale del vino “Montepulciano d’Abruzzo” sia pari all’11,50%. Il marchio di qualità DOC viene attribuito per una resa massima dell’uva/vino non superiore al 70%, oltre la quale decade il diritto alla denominazione d’origine controllata (Consorzio di Tutela Vini d’Abruzzo, 2023). Il “Montepulciano d’Abruzzo” DOC analizzato viene prodotto con metodo convenzionale, ha la menzione di “Riserva” con 14,5% di titolo alcolometrico volumico ed è ottenuto da uve 100% “Montepulciano d’Abruzzo”. In particolare, il vino con menzione “Riserva” richiede un periodo di invecchiamento di almeno nove mesi in recipienti di legno (ad esempio barrique) per un totale di almeno due anni.

La raccolta dei dati di inventario è stata condotta principalmente utilizzando dati primari, che in alcuni casi sono stati integrati con dati secondari, come le emissioni di CO₂ (v. sezione 1.2).

I dati primari sono stati raccolti nel 2022, acquisendo informazioni relative alla vinificazione del “Montepulciano d’Abruzzo” DOC Superiore per l’annata agraria 2020/2021. Per la costruzione della banca dati relativa alla fase di vinificazione, sono stati identificati gli input e gli output per ciascun processo unitario relativo al processo produttivo analizzato. I fogli sono stati compilati direttamente in azienda dal responsabile qualità, in collaborazione con l’enologo e con la supervisione degli autori.

I dati primari sono stati raccolti per i seguenti processi:

- Scarico uva/Pigia-Diraspatura – L’uva viene scaricata in una piccola vasca in cui viene aggiunta anidride carbonica allo stato solido (“ghiaccio secco”), per preservare la qualità dell’uva. Successivamente, attraverso un nastro trasportatore, i grappoli d’uva vengono movimentati verso un nastro vibrante dove degli operatori selezionano manualmente i grappoli e gli acini migliori. I grappoli vengono poi pigiati con una pressa e diraspati e il mosto ottenuto viene inserito in una cisterna. Il mosto contiene semi e buccia d’uva che risultano necessari per conferire al “Montepulciano d’Abruzzo”, e in generale ai vini rossi, la sua colorazione tipica. I raspi, in questo caso, vengono portati in una distilleria nei pressi (900 m) della cantina.
- Fermentazione – Nella fermentazione alcolica gli zuccheri del mosto vengono trasformati in etanolo con emissione di CO₂ biogenica. In questa fase, vengono aggiunti nel mosto diversi lieviti ed attivatori, come ad esempio *Saccharomyces bayanus*, arginina, prolina; inoltre, viene utilizzato il metabisolfito di potassio (K₂S₂O₅) per prevenire la proliferazione di batteri (Arzoumanidis et al., 2013b).

- Pressatura – Le bucce vengono pressate affinché rilascino le caratteristiche organolettiche che conferiscono al vino colore e sapore. La vinaccia, ottenuta come sottoprodotto, viene destinata alla distilleria.
- Travaso – Il mosto/vino così ottenuto viene travasato in barrique da 2,25 ettolitri attraverso l'ausilio di una pompa elettrica.
- Decantazione – Il mosto/vino viene conservato in barrique di legno di rovere.

I processi multi-output correlati possono essere gestiti, successivamente in LCA, con l'allocazione basata sulla massa (Arzoumanidis et al., 2013b).

La fase di vinificazione considerata in questo studio termina con la conservazione del vino (cioè decantazione). Infatti, la cantina analizzata include il processo di chiarificazione e filtrazione nella fase di imbottigliamento; di conseguenza, per questo studio, tali operazioni non sono state prese in esame, visto che l'imbottigliamento non è stato considerato. La Figura 1 mostra il processo di vinificazione analizzato.

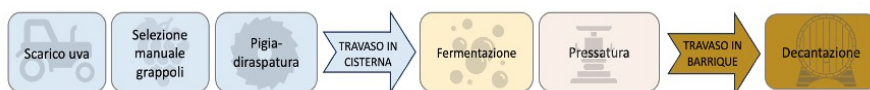


Figura 1 – Processo di vinificazione analizzato. Elaborato dagli autori

I datasheets sviluppati sono stati modellizzati definendo un'Unità Funzionale pari a 0,75 L di vino sulla base di un format accordato tra le diverse unità di ricerca coinvolte nel progetto PRIN2017 "ILCIDAF". Il datasheet nella prima parte raccoglie informazioni descrittive relative al processo analizzato ed elementi metodologici necessari all'impiego del datasheet nello sviluppo di studi LCA (e.g., nome del processo; indicazione della qualità dei dati a livello di rappresentatività geografica, temporale e tecnologica; fonte/tipologia del dato, letteratura di riferimento, metodi di calcolo, allocazione, criteri di *cut-off*). Nella seconda parte, invece, viene indicato l'inventario di input-output, in sezioni separate, fornendo ulteriormente una descrizione relativa alla modalità di acquisizione del dato (cioè "Stimato": valore stimato in base a dati ipotizzati / basato su dato di letteratura; "Stima basata su valore misurato": valore stimato partendo da valore di base certo; "Calcolato": valore calcolato partendo da valore misurato/certo; "Misurato": valore misurato sul campo). La Figura 2 e la Figura 3 mostrano i datasheet costruiti, rispettivamente, per i processi "Scarico Uva/Pigia-diraspatura" e "Fermentazione" – riportati a titolo esemplificativo.


PRIN 2017, dal titolo "Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian Life Cycle Inventory Database of Agri-Food Products"					
					
Process Information					
Process name	Crushing/Destemming				
Production volume	0,75				
Description	Crushing of grapes and destemming				
Geography	Central-Southern Italy	Data quality indicator: Geographical representativeness Excellent - Very Good - Good - Fair - Poor - Very Poor			
Technology	The technology data refer to processes and materials collected on site	Data quality indicator: Technological representativeness Excellent - Very Good - Good - Fair - Poor - Very Poor			
Time Period	2021	Data quality indicator: Time representativeness Excellent - Very Good - Good - Fair - Poor - Very Poor			
Source - specify source in terms of: National average, based on on-field data National average, based on statistical data National, based on on-field data National, based on statistical data Generic, based on data not originating from Italy	National, based on on-field data				
Literature references	Ecolvent v.3.5				
Collection method	On-site data collection and scientific literature (for CO2 estimation)				
Allocation rules	Mass allocation between must (89,6%) and marc and stems (10,4%)				
Data treatment					
Completeness check	1				
PRODUCT/FUNCTIONAL UNIT	0,75 L of wine				
Inventory Data					
INPUT FLOWS					
Type	Name	Amount	Unit	Data definition: + Stimato - valore stimato in base a dati ipotizzati / basato su dato di letteratura + Misura basata su valore misurato - valore stimato partendo da valore di base certo (es. ripartizione del consumo elettrico complessivo di botteletta, tra varie fasi, in base a una ipotesi) + Calcolato - valore calcolato partendo da valore misurato/certo	Valutazione del singolo dato in termini di copertura temporale, copertura geografica, copertura tecnologica e completezza (vedi esempio tabella allegata)
Resource from the environment (elementary flows)	Grapes	1,076	kg	Measured	1, 1, 1, 1
Intermediate material input	Carbon dioxide	0,386	kg	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Auxiliary material input	Filter belt	0,0044	kWh	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Energy input	Filtering belt	0,0021	kWh	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Energy input	crushing	0,00786	kWh	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Energy input	Filtering belt to tank	0,00059	kWh	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Transport	Transport of marc and stems	0,387	kg/m	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Water input (di retta, corpi idrici superficiali, di falda, ecc)					
OUTPUT FLOWS					
Type	Name	Amount	Unit	Data definition:	Valutazione del singolo dato
Product	Must	0,93	kg	Measured	1, 1, 1, 1
Co-product	Marc and stems	0,108	kg	Measured	1, 1, 1, 1
Emissions to air	Carbon dioxide, fossil	0,34134	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to air	Carbon dioxide, fossil (high pop)	0,01382	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to air	Carbon dioxide, fossil (low pop)	0,00484	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to air	Carbon dioxide, biogenic (high pop)	0,00131	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to air	Nitrogen oxides	0,00115	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to water (river, lake, municipal sewer, etc)	Chloride (river)	0,00296	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to water (river, lake, municipal sewer, etc)	Sodium, ion (river)	0,00174	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to water (river, lake, municipal sewer, etc)	Sodium, ion	0,00124	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to water (river, lake, municipal sewer, etc)	CO2, Chemical oxygen demand (river)	0,00093	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to water (river, lake, municipal sewer, etc)	BOC5, Biological oxygen demand (river)	0,00096	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to soil	Chloride	0,00186	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to soil	Oil, unrefined (Forestry)	0,000168	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to soil	Calcium (Industrial)	0,000012	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to soil	Chloride (Industrial)	0,00001	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to soil	Carbon (Industrial)	0,000008	kg	Estimated (From Ecolvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Waste to treatment					
Other output with destination					

Figura 2 – Esempio di datasheet per il processo Scarico Uva/Pigia-diraspatura

Il datasheet relativo al processo di Scarico Uva e Pigia-diraspatura (Figura 3) mostra per ciascun input e output, oltre alla descrizione della tipologia di flusso (cioè energetico, materico, ecc.), la quantità, l'unità di misura adottata, nonché la qualità del dato. In particolare, la qualità del dato è attribuito secondo una scala di punteggio da 1 a 5, dove 1 è il punteggio migliore e 5 il peggiore. Ad esempio, secondo il criterio della copertura geografica, il punteggio 1 è attribuito qualora il dato sia proveniente dall'area geografica specifica oggetto dello studio; mentre 5 nel caso in cui i dati siano provenienti da un'area distintamente differente da quella oggetto di studio oppure da un'area sconosciuta.


		PRIN 2017, dal titolo "Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian Life Cycle Inventory Database of Agri-Food Products"			
Process Information					
Process name	Fermentation				
Production volume	0,75				
Description	Traditional fermentation				
Geography	Central-Southern Italy	Data quality indicator: Geographical representativeness Excellent - Very Good - Good - Fair - Poor - Very Poor			
Technology	The technology data refer to processes and materials collected on site			Data quality indicator: Technological representativeness Excellent - Very Good - Good - Fair - Poor - Very Poor	
Time Period	2021	Data quality indicator: Time representativeness Excellent - Very Good - Good - Fair - Poor - Very Poor			
Source - specify source in terms of: National average, based on on-field data National average, based on statistical data National, based on on-field data National, based on statistical data Generic, based on data not originating from Italy					
Literature references	D'Alberti et al. (2015); Gueddari-Aaurir et al. (2022); Ecolinvent v.3.5				
Collection method	On-site data collection and scientific literature (for CO ₂ estimation)				
Allocation rules	Mass allocation between wine (87%) and lees (23%)				
Data treatment	N/A				
Completeness check	1				
Product/Functional Unit	0,75 L of wine				
Inventory Data					
INPUT FLOWS					
Type	Name	Amount	Unit	Data definition: + Stimato - valore stimato in base a dati (ipotesi) / basato su dati di letteratura + Stimato su valore misurato - valore stimato partendo da valore di base certo (es. ripartizione del consumo elettrico complessivo di botteffa, tra varie fasi, in base a una ipotesi) + Calcolato - valore calcolato partendo da valore misurato (ortici)	Validazione dei singoli dati in termini di copertura temporale, copertura geografica, copertura tecnologica e completezza (vedi esempio tabella allegata)
Resources from the environment (elementary flows)					
Intermediate material input	Grapes	1,076	kg	Measured	1, 1, 1, 1
Auxiliary material input	Carbon dioxide	0,086	kg	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Energy input	Wiring belt	0,00245	kWh	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Energy input	vibrating belt	0,0021	kWh	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Energy input	crushing	0,00786	kWh	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Energy input	Wiring belt to tank	0,00205	kWh	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Transport	Transport of marc and stems	0,3873	kgkm	Calculated based on a measured value	1, 1, 1, 1
Water input (all nets, crop direct superficial, di falda, ecc)					
OUTPUT FLOWS					
Type	Name	Amount	Unit	Data definition:	Validazione dei singoli dati
Product	Marc	0,362	kg	Measured	1, 1, 1, 1
Co-product	Marc and stems	0,109	kg	Measured	1, 1, 1, 1
Emissions to air	Carbon dioxide, fossil	0,34134	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to air	Carbon dioxide, fossil (high pop)	0,01382	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to air	Carbon dioxide, fossil (low pop)	0,04846	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to air	Carbon dioxide, biogenic (high pop)	0,00131	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to air	Nitrogen oxides	0,00112	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to water (river, lake, municipal sewer, etc)	Chloride (over)	0,00296	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to water (river, lake, municipal sewer, etc)	Sodium, ion (over)	0,00174	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to water (river, lake, municipal sewer, etc)	Sodium, ion	0,00174	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to water (river, lake, municipal sewer, etc)	CO ₂ Chemical oxygen demand (river)	0,00007	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to water (river, lake, municipal sewer, etc)	BOD ₅ Biological oxygen demand (river)	0,00096	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to soil	Chloride	0,00186	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to soil	Oil, unspecified (forestry)	0,000348	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to soil	Calcium (industrial)	0,000012	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to soil	Chloride (industrial)	0,00001	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Emissions to soil	Carbon (industrial)	0,000008	kg	Estimated (From Ecolinvent v.3.5)	5, 2, 3, 5
Waste to treatment					
Other output with destination					

Figura 3 – Esempio di datasheet del processo di fermentazione

Per quanto concerne le sfide metodologiche incontrate durante la realizzazione dei datasheet, si evince come la raccolta dei dati primari abbia richiesto uno sforzo considerevole, in termini di tempo e risorse, nella fase di identificazione e coinvolgimento dell'azienda vitivinicola coinvolta. Inoltre, si sottolinea come uno dei principali limiti del presente studio sia quello relativo alla definizione dei confini del sistema che, attualmente, escludono la fase di imbottigliamento e di imballaggio secondario e terziario del prodotto analizzato.

4 Conclusioni

Il presente studio descrive la procedura per la realizzazione di dataset per la filiera vitivinicola italiana relativi alla fase di vinificazione del

“Montepulciano d’Abruzzo” DOC. A tale scopo, sono stati utilizzati dati primari raccolti sul campo presso un’azienda vitivinicola abruzzese. In particolare, lo studio illustra le fasi che hanno caratterizzato la raccolta dati, i calcoli effettuati così come il format utilizzato per i datasheet; i quali saranno successivamente sottoposti a controlli da parte dei gruppi di lavoro del progetto e, una volta approvati, saranno inseriti nella banca dati italiana ILCIDAF. Tale banca dati sarà fruibile in *open source* e pertanto, i dataset saranno di supporto ai *practitioners* di LCA nell’implementazione di casi studio specifici nel settore vitivinicolo italiano. Sviluppi futuri riguarderanno la raccolta dei dati primari per la fase dell’imbottigliamento e del confezionamento, nonché la raccolta relativa ad altri vini italiani a marchio di qualità.

Ringraziamenti

Questo lavoro fa parte dei risultati del progetto di ricerca “Promoting Agri-Food Sustainability: Development of an Italian LCI Database of Agri-Food Products (ILCIDAF)” (PRIN – Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale 2017 – Prot. 2017EC9WF2, settore ERC SH2, Linea C – finanziato dal Ministero dell’Università e della Ricerca (MUR)).

References

- ARZOUAMANIDIS, I., PETTI, L., RAGGI, A., ZAMAGNI, A. (2013a). *Life Cycle Assessment (LCA) for the agri-food sector*. In Salomone, R., Clasadonte, M.T., Proto, M., Raggi, A. (eds.), *Product-Oriented Environmental Management System (POEMS) – Improving Sustainability and Competitiveness in the agri-food chain with innovative environmental management tools*. Dordrecht: Springer, 105-122.
- ARZOUAMANIDIS, I., RAGGI, A., PETTI, L., ZAMAGNI, A. (2013b). *The implementation of simplified LCA in agri-food SMEs*. In Salomone, R., Clasadonte, M.T., Proto, M., Raggi, A. (eds.), *Product-Oriented Environmental Management System (POEMS) – Improving Sustainability and Competitiveness in the agri-food chain with innovative environmental management tools*. Dordrecht: Springer, 151-173.
- BRYCESON, K.P., ROSS, A.. (2020). *Agrifood chains as complex systems and the role of informality in their sustainability in small scale societies*. *Sustainability*, 12, 6535.
- CASOLANI, N., D'EUSANIO, M., LIBERATORE, L., RAGGI, A., PETTI, L. (2022). *Life Cycle Assessment in the wine sector: a review on inventory phase*. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134404.
- CONSORZIO DI TUTELA VINI D'ABRUZZO (2023). *Disciplinare di produzione dei vini a denominazione di origine controllata "Montepulciano d'Abruzzo"*. <https://www.vinidabruzzo.it/wp-content/uploads/2020/01/c99ec-DOC-Montepulciano-d-Abruzzo.pdf> (ultimo accesso il 30 settembre 2023).
- D'ALBERTI, V., CAMMALLERI, I., BELLA, S.L., RAGUSA, M., PAVAN, M., RAGUSA, R. (2015). *Production of algae with CO2 from wine fermentation: An important way to reduce emissions, Experimental tests on 4 algal strains, in 23rd European Biomass Conference and Exhibition, Atti del Convegno (Vienna, 1-4 giugno 2015, pp. 1-4)*.
- DEL REY, R., PICCOLI, F. (2020). *Il mercato del vino in Italia e nel mondo prima e dopo il COVID-19. Situazione, tendenze e sfide per il vino a livello mondiale*. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Ufficio DISR2, Roma.
- D'EUSANIO, M., CASOLANI, N., LIBERATORE, L., RAGGI, A., PETTI, L. (2022). *Sfide operative nella costruzione di una banca dati italiana di Life Cycle Inventory nel settore vitivinicolo, in XVI Convegno Associazione Rete Italiana LCA, Atti del Convegno (Palermo, 22-24 giugno 2022, pp. 486-493)*.
- FERRARA, C., DE FEO, G. (2018). *Life cycle assessment application to the wine sector: a critical review*. *Sustainability*, 10(2), 395.

- GUEDDARI-AOURIR, A., GARCÍA-ALAMINOS, A., GARCÍA-YUSTE, S., ALONSO-MORENO, C., CANALES-VÁZQUEZ, J., ZAFRILLA, J.E. (2022). *The carbon footprint balance of a real-case wine fermentation CO2 capture and utilization strategy*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 157, 112058.
- ISO 14040 (2006). Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework, 2nd ed. International Organisation for Standardisation: Geneva, Switzerland.
- ISO 14044 (2006). Environmental Management – Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines. International Organisation for Standardisation: Geneva, Switzerland.
- MAZZEI, P., FRANCESCA, N., MOSCHETTI, G., PICCOLO, A. (2010). *NMR spectroscopy evaluation of direct relationship between soils and molecular composition of red wines from Aglianico grapes*. Analytica Chimica Acta, 673(2), 167-172.
- NOTARNICOLA, B., SALA, S., ANTON, A., MCLAREN, S.J., SAOUTER, E., SONNESSON, U. (2017). *The role of life Cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: a review of the challenges*. Journal of Cleaner Production, 140(2), 399-409.
- RUGANI, B., VAZQUEZ-ROWE, I., BENEDETTO, G., BENETTO, E. (2013). *A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector*. Journal of Cleaner Production 54, 61-77.
- TRAGNONE, B.M., D'EUSANIO, M., PETTI, L. (2022). *The count of what counts in the agri-food Social Life Cycle Assessment*. Journal of Cleaner Production, 354, 131624
- MINISTERO DELL'AGRICOLTURA, DELLA SOVRANITÀ ALIMENTARE E DELLE FORESTE (2023). *Elenco dei prodotti DOP, IGP e STG*. <<https://www.politicheagricole.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/2090>> (ultimo accesso 29 settembre 2023).

Book of Abstracts

L'etichettatura ambientale nel settore alimentare. Analisi delle dinamiche evolutive a livello italianonale

Agata Lo Giudice

Università di Salerno

Maria Rosaria Sessa

Università di Salerno

Ornella Malandrino

Università di Salerno

Recentemente, l'attenzione per l'ambiente e la sostenibilità ha raggiunto livelli senza precedenti, influenzando numerosi settori economici, tra cui quello Food dove si è assistito ad una crescente diffusione delle etichette ambientali che forniscono indicazioni sull'impatto ambientale di produzione, sul ciclo di vita del prodotto o sull'origine degli ingredienti.

La loro implementazione ha avuto diversi effetti positivi come, ad esempio, incentivare le aziende alimentari a considerare e adottare pratiche più sostenibili nella produzione e nella catena di approvvigionamento. Ciò ha portato alla riduzione dell'uso di risorse naturali, a limitare le emissioni di gas ad effetto serra e a gestire responsabilmente i rifiuti di produzione.

Nonostante i benefici derivanti dalla loro diffusione in questo settore, sono emersi alcuni ostacoli e criticità. La diversità delle etichette ambientali presenti sul mercato e la mancanza di un quadro normativo unificato possono creare confusione tra i consumatori e rendere difficile il confronto tra i prodotti. È fondamentale, quindi, individuare un percorso di standardizzazione delle etichette e fornire un'adeguata educazione ai consumatori per garantire una corretta interpretazione dei simboli e delle informazioni fornite.

Obiettivo del presente lavoro è l'analisi della diffusione delle etichette ambientali nel settore del Food a livello italiano. Queste etichette forniscono informazioni trasparenti e permettono ai consumatori di fare scelte più consapevoli, incoraggiando l'industria alimentare ad adottare pratiche sostenibili. Tuttavia, è necessario una strategia comune tra i principali attori della filiera alimentare per affrontare le sfide attuali, migliorare la standardizzazione delle etichette e promuovere una maggiore consapevolezza dei consumatori sull'importanza di un'alimentazione sostenibile.

PAROLE CHIAVE: etichettatura alimentare, sostenibilità, green deal, settore food, impatto ambientale, economia circolare.

Le Zes: uno strumento per lo sviluppo dell'agri-food innovativo e sostenibile

Candida Laquale

Università degli Studi di Foggia

Roberto Rana

Università degli Studi di Foggia

Nicola Faccilongo

Università degli Studi di Foggia

Caterina Tricase

Università degli Studi di Foggia

Le Zone Economiche Speciali (ZES) sono state istituite mediante il Decreto Legge 20 giugno 2017 n. 91 e successive modifiche. Secondo la normativa le ZES costituiscono aree geografiche che, anche se non necessariamente adiacenti territorialmente, sono connesse dal punto di vista economico e devono includere almeno un'area portuale con specifiche caratteristiche. Attraverso agevolazioni fiscali e finanziarie specifiche e altri strumenti facilitatori, le ZES mirano ad attirare investimenti, sviluppare infrastrutture, creare nuovi posti di lavoro e promuovere la crescita delle esportazioni e delle attività industriali. Pertanto, tali zone possono svolgere un ruolo significativo nel miglioramento della competitività delle aree produttive del Mezzogiorno, favorendo gli investimenti in territori che presentano vantaggi strutturali sottoutilizzati. L'obiettivo è trasformarli in "laboratori" in cui promuovere e sperimentare nuovi modelli produttivi basati sull'economia circolare e sull'innovazione tecnologica.

Le strategie di implementazione delle ZES tengono conto del contesto in cui si collocano, e tra i settori più rilevanti per l'economia del Mezzogiorno vi è senza dubbio quello dell'agroalimentare. L'analisi di questa filiera mette in luce l'importanza degli investimenti in innovazione. Considerando gli obiettivi di transizione ecologica richiesti dalla Comunità Europea, l'innovazione rappresenta una delle leve strategiche fondamentali per garantire una catena del valore che preservi la competitività sui mercati delle filiere agricole italiane.

In questo contesto, il presente studio si propone di esaminare l'impatto finora osservabile delle ZES sulla filiera agroalimentare del Mezzogiorno e di analizzare come tali zone possano fungere da catalizzatori per lo sviluppo economico e di "ecosistemi di innovazione sostenibile".

PAROLE CHIAVE: agri-food, ZES, sostenibilità, innovazione, economia circolare, Mezzogiorno.

Multi-actor network in literature. Tools and techniques of research

Annalisa Angeloni

CREA Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria

Cecilia Silvestri

Università della Tuscia

L'obiettivo del presente lavoro è descrivere lo stato dell'arte del tema della rete multi-attore attraverso un'analisi della letteratura. Il presente lavoro si inserisce nell'ambito di uno studio sull'implementazione delle catene circolari di valorizzazione dei nutrienti bio-based, ponendo particolare attenzione a quelli che sono i residui del sistema agroalimentare ortofrutticolo. In particolare, saranno approfondite la modalità di coinvolgimento degli attori (strumenti e tecniche di ricerca) e risultati ottenuti.

PAROLE CHIAVE: rete multi-attore, agricoltura, soluzioni di mercato, portatori di interesse, sistema agroalimentare, modello di business.

Perceived vs Actual Water Footprint: analysis of the consumers' awareness related to agrifood products

Giulio Paolo Agnusdei

Università del Salento

Partendo dal concetto di impronta idrica, il presente studio indaga la consapevolezza dei consumatori verso scelte di consumo più sostenibili in termini idrici. L'analisi della consapevolezza dei consumatori circa il consumo indiretto di acqua relativo ai prodotti agroalimentari rappresenta uno strumento essenziale per supportare il processo decisionale verso strategie di marketing in linea con le sfide che emergono dalla scarsità idrica. Viene valutata l'impronta idrica percepita (PWF) dai consumatori e relativa a diversi prodotti agroalimentari, testando la correlazione di tale percezione rispetto all'impronta idrica effettiva (AWF) degli stessi prodotti. Sulla base del modello di attivazione della norma (NAM), la ricerca condotta valuta anche la dipendenza della PWF dal consumo individuale. La metodologia adottata per raggiungere gli obiettivi dello studio è lo Structural Equation Modeling (SEM) applicato su un campione di consumatori italiani. I risultati dell'indagine mostrano che: (i) la PWF non è correlata con l'AWF, e (ii) la PWF, come indicatore ambientale, influenza la consapevolezza ambientale degli individui attraverso il NAM, con intervallo di confidenza superiore al 95% e con buona capacità esplicativa. Inoltre, il modello identifica il vantaggio dell'utilizzo dell'impronta idrica come chiave di

attivazione del processo decisionale evidenziato nel NAM, in altre parole, la conoscenza dell'impronta idrica influenza positivamente il comportamento responsabile in termini di consumo idrico. Fornendo informazioni utili sul consumo idrico diretto e indiretto, l'approccio dell'impronta idrica può essere utile nel contesto del green marketing. La comune consapevolezza in materia di acqua può influenzare i consumatori disposti a contribuire alla sostenibilità idrica, modificando il loro comportamento di consumo.

PAROLE CHIAVE: perception, awareness, virtual water, consumer behavior, life-cycle approaches, sustainability.

Il volume presenta gli Atti del Convegno dell'Associazione Italiana di Scienze Merceologiche, in tema di "Qualità, Innovazione e Sostenibilità nella filiera agro-alimentare: il contributo delle Scienze Merceologiche". Esso raccoglie interessanti contributi scientifici relativi al settore agro-alimentare a cura di ricercatori e professori del settore delle Scienze Merceologiche che indagano strategie innovative per migliorare la sicurezza alimentare, ridurre l'impatto ambientale e promuovere modelli di produzione e consumo responsabili, attraverso un approccio multidisciplinare e rigoroso. I contributi arricchiscono il dibattito scientifico sul tema fornendo interessanti spunti di riflessione per policy maker, imprese e stakeholder nella costruzione di un sistema alimentare più equo, sano e sostenibile. Attraverso questo volume le Scienze Merceologiche consolidano il loro ruolo di punto di riferimento nel panorama nazionale, contribuendo ad accrescere la conoscenza e lo studio di modelli, metodi e approcci volti a garantire qualità, innovazione e sostenibilità lungo l'intera filiera agro-alimentare.

MARIA CLAUDIA LUCCHETTI

Professore Ordinario in Scienze Merceologiche, ora in pensione, presso il Dipartimento di Studi Aziendali Università Studi Roma Tre, continua ad insegnare come esperto esterno mantenendo attivo il suo impegno accademico e scientifico. È Editor-in-Chief dell'International Journal of Environmental Policy and Decision Making (IJEPDM).

MARIA FRANCESCA RENZI

Professore Ordinario in Scienze Merceologiche presso il Dipartimento di Studi Aziendali dell'Università degli Studi Roma Tre. Insegna Quality Management, e Corporate Social Responsibility and Sustainability. Fa parte del "Rome Technopole" ed è membro dell'Editorial Review Board di International Journal of Service Theory and Practice. È Presidente dell'Accademia Italiana di Scienze Merceologiche.