



17 | collana
Patrimonio Culturale e Territorio


Roma TrE-Press
2023

IL PROGETTO OPERA: CONOSCERE, RAPPRESENTARE, INTERVENIRE

Un protocollo pilota per la prevenzione e la mitigazione dei rischi ambientali

a cura di Giovanna Spadafora



**Il progetto Opera:
conoscere, rappresentare, intervenire**
Un protocollo pilota per la prevenzione e la mitigazione dei rischi ambientali

collana

Patrimonio culturale e territorio

Comitato scientifico

Carlo Baggio
Liliana Barroero
Caudio Cerreti
Claudio Facenna
Luigi Franciosini
Maurizio Gargano
Guido Giordano
Daniele Manacorda
Maura Medri
Anna Laura Palazzo
Elisabetta Pallottino
Riccardo Santangeli Valenzani
Giovanna Spadafora

Volume n° 17

Cura scientifica

Giovanna Spadafora

Progetto grafico e cura redazionale

Alessio Agresta

Coordinamento editoriale

Gruppo di lavoro Roma Tre Press

Edizioni Roma Tre Press ©

Roma, novembre 2023

ISBN 979-12-5977-253-4

<http://romatypress.uniroma3.it>

E.R.A. Arte, Creación y Patrimonio Iberoamericanos en Redes / Universidad Pablo de Olavide

Sevilla, novembre 2023

ISBN 978-84-09-56651-8



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.

This work is licensed under the license Creative Commons Attribution-NonCommercial NoDerivatives 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



L'attività della Roma Tre Press è svolta nell'ambito Fondazione Roma Tre-Education, piazza della Repubblica 10, 00185, Roma

In copertina: Vista da Rocca di Cave (RM) verso i Monti Simbruini. Foto della curatrice.

I caratteri tipografici utilizzati sono Helvetica Neue e Bembo.

Sommario

9	Le finalità della ricerca, la sua articolazione, le possibili prospettive Giovanna Spadafora
17	Conoscere, rappresentare, intervenire Giovanna Spadafora
21	PARTE I - Il progetto Opera
23	1. Il risultato della ricerca: un protocollo operativo Mario Cerasoli, Allegra Eusebio
23	1.1. Premessa: la mancanza di un approccio strutturale alla mitigazione del rischio in Italia
24	1.1.1. Aree Interne e territori fragili
26	1.2. Definizione, obiettivi e struttura del Protocollo
27	1.3. Le fasi del Protocollo
30	1.4. Attori ed enti coinvolti
32	1.5. Conclusioni: verso programmi ordinari di mitigazione del rischio
35	PARTE II - Territorio e rischi ambientali: metodologie di analisi e valutazione
37	2. Conoscere il patrimonio costruito
37	2.1. Metodologie di analisi sul patrimonio Michele Zampilli
38	2.2. Il rilievo come strumento di indagine conoscitiva Marco Canciani
40	2.2.1. Analisi qualitativa-quantitativa: lo stato dell'arte
42	2.2.2. La metodologia del rilevamento
44	2.2.3. Alcuni dati per la compilazione delle Schede conoscitive Francesca Romana Stabile
45	2.3. Il GIS per l'analisi e la sistematizzazione dei dati Mauro Saccone
45	2.4. L'individuazione delle strutture urbane minime (Sum) Allegra Eusebio
47	3. Analisi e valutazione dei rischi ambientali. Approcci metodologici specifici
47	3.1. Premessa Elena Volpi
49	3.2. Indagini geologiche preliminari per la valutazione dei rischi Domenico Cosentino
50	3.2.1. Ricostruzione del modello geologico e geotecnico
50	3.2.2. La pericolosità sismica di base
50	3.2.3. La pericolosità sismica locale
51	3.2.4. Microzonazione sismica
52	3.3. Metodologie di valutazione del rischio sismico Fabrizio Paolacci
55	3.4. Metodologie di valutazione del rischio idrologico/idraulico Elena Volpi
57	3.4.1. La pericolosità
58	3.4.2. La vulnerabilità
59	3.4.3. Il rischio

59	3.5. Metodologie di valutazione della pericolosità da frana
	Paola Molin
62	3.6. Metodologie di valutazione della pericolosità da radon
	Paola Tuccimei, Michele Soligo
62	3.6.1. La geologia del radon: dalle rocce al rischio
65	3.6.2. Applicazioni degli indici radon ad un caso studio
66	3.6.3. L'importanza del monitoraggio per correggere l'effetto stagionale
67	3.6.4. La classificazione dei materiali da costruzione
68	3.7 Metodologie di valutazione della pericolosità vulcanica
	Valerio Acocella
69	3.7.1. Valutazione della pericolosità e vulnerabilità per il degassamento
69	3.8. Metodologie di valutazione dei rischi ambientali negli spazi aperti urbani: le condizioni microclimatiche estive
	Lucia Martincigh con Marina Di Guida e Andrea Recine
71	3.8.1. Le condizioni climatiche e l'utilizzazione degli spazi urbani: il rischio termico
73	3.8.2. Comfort termico e ondate di calore
74	3.8.2.1. La pericolosità
76	3.8.2.2. La vulnerabilità
77	3.8.2.3. La valutazione del rischio "ondate di calore" (PxV)
78	3.8.3. Comfort termico e isole urbane di calore - Urban Heat Island (UHI)
79	3.8.3.1. La pericolosità
80	3.8.3.2. La vulnerabilità
80	3.8.3.3. La valutazione del rischio "isole di calore"
81	3.9. I dati: reperimento, finalità, uso. Alcune considerazioni
	Giovanna Spadafora, Mauro Saccone, Allegra Eusebio
81	3.9.1. Fonti dei dati per l'analisi dei rischi
82	3.9.2. Scala nominale del dato
84	3.9.3. Tipi e formato
85	3.9.4. Dati necessari alle valutazioni dei rischi considerati nella ricerca
89	4. La valutazione combinata dei rischi
89	4.1. Principi generali e definizioni
	Elena Volpi
91	4.2. Strumenti operativi: piattaforme di calcolo
	Elena Volpi
92	4.3. Progetti nazionali e internazionali sull'analisi multirischio
	Elena Volpi
93	4.4. Metodologia di valutazione multi-hazard
	Fabrizio Paolacci
93	4.4.1. Metodo di mappatura delle pericolosità
94	4.4.2. Metodo di valutazione multi-rischio
97	PARTE III - Indicazioni operative
99	5. Metodologia operativa per l'individuazione delle priorità d'intervento
99	5.1. Premessa
	Giovanna Spadafora, Mauro Saccone
100	5.2. Il GIS per l'elaborazione delle mappe di priorità di intervento
	Mauro Saccone
104	5.3. Valutazioni di tipo qualitativo della pericolosità e della vulnerabilità sismica
	Martina D'Aversa
107	5.4. Valutazioni della pericolosità e vulnerabilità idrologico/idraulica
	Elena Volpi

110	5.5. Valutazioni qualitative della pericolosità da frana
	Paola Molin
112	5.6. Valutazioni qualitative della pericolosità e della vulnerabilità da radon
	Tuccimei-Soligo
113	5.7. Valutazioni speditive delle ondate di calore
	Lucia Martincigh
115	5.8. La perimetrazione delle SUM
	Mauro Saccone
115	5.9. Mappe qualitative del rischio multi-hazard, aree di attenzione e priorità di intervento
	Mauro Saccone
119	6. Prevenzione e mitigazione sostenibili dei rischi ambientali
119	6.1. Premessa
	Marina Di Guida, Lucia Martincigh, Giovanna Spadafora
122	6.2. La cultura dei luoghi
	Francesca Romana Stabile
124	6.2.1. Individuazione degli interventi volti al recupero e alla valorizzazione degli assetti storici e paesaggistici
	Francesca Romana Stabile
125	6.3. Interventi di restauro e messa in sicurezza nei centri storici: alcuni esempi
	Michele Zampilli
138	6.4. Mitigazione del rischio sismico per le strutture
	Alessandro Bergami
141	6.5. Mitigazione del rischio idrologico/idraulico
	Elena Volpi
142	6.6. Mitigazione del rischio frana
	Paola Molin
143	6.7. Monitoraggio e mitigazione del rischio radon
	Paola Tuccimei, Michele Soligo
143	6.8. Mitigazione del rischio isola di calore
	Lucia Martincigh, Marina Di Guida
147	6.9. Risk management: dalla valutazione alla comunicazione.
	Azioni di mitigazione attraverso il coinvolgimento delle comunità locali
	Anna Aluffi Pentini
148	6.9.1. Risk management e infanzia
149	6.9.2. Educazione al rischio. Buone pratiche nelle scuole
151	6.9.3. Un percorso possibile
153	PARTE IV - Il caso di studio
155	7. Il caso di studio: il Comune di Cave
155	7.1. Cave e il contesto territoriale
	Elisabetta Tortora, Giovanna Spadafora
162	7.2. Tessuto urbano e tipi edilizi a Cave
	Michele Zampilli, Giulia Brunori
171	7.3. Il rilievo del centro storico di Cave
	Marco Canciani
175	7.3.1. Caratteri costruttivi dell'edilizia storica di Cave
	Michele Zampilli
178	7.4. L'individuazione delle SUM di Cave
	Elisabetta Tortora
180	7.5. La schedatura
	Mauro Saccone

182	7.6. I rischi ambientali nel territorio di Cave, alcune indagini
182	7.6.1. La nuova carta geologica e delle MOPS Domenico Cosentino, Valentina Gambetti
183	7.6.2. La valutazione del rischio sismico (qualitativo) a Cave Martina D'Aversa
185	7.6.3. Valutazione speditiva della pericolosità da Frana a Cave Paola Molin
186	7.6.4. Valutazione qualitativa della pericolosità e della vulnerabilità da radon a Cave Paola Tuccimei, Michele Soligo
187	7.6.5. Valutazione speditiva della pericolosità e della vulnerabilità idrologico/idraulica a Cave Elena Volpi
189	7.6.6. Valutazione speditiva delle ondate di calore a Cave Lucia Martincigh con Andrea Recine
189	7.6.6.1. L'analisi della pericolosità
198	7.6.6.2. L'analisi della vulnerabilità
203	7.6.6.3. La valutazione del rischio "ondate di calore"
207	7.7. Le aree di attenzione e le priorità di intervento nel Comune di Cave
207	7.7.1. Mappe qualitative del rischio Mauro Saccone
209	7.7.2. Individuazione delle aree di attenzione e delle priorità di intervento Mauro Saccone, Giovanna Spadafora
211	7.8. Approfondimenti tematici sulle prioritarie
211	7.8.1. Valutazione quantitativa del rischio sismico del centro storico di Cave Martina D'Aversa
211	7.8.1.1. Pericolosità sismica
212	7.8.1.2. Vulnerabilità
219	7.8.1.3. Rischio sismico a Cave
220	7.8.2. Valutazione secondo il metodo analitico del rischio sismico del centro storico di Cave: Palazzo Zopetti Martina D'Aversa
223	7.8.2.1. Calcolo delle curve di fragilità con metodo analitico
226	7.8.2.2. Definizione degli stati di danno e dei livelli di prestazione
229	7.8.2.3. Fonti di incertezza e propagazione
233	7.8.2.4. Curve di fragilità
234	7.8.2.5. Calcolo rischio sismico e confronti con il metodo speditivo
235	7.8.3. La risposta sismica locale a Cave Domenico Cosentino, Valentina Gambetti
235	7.8.4. Isole di Calore a Cave Lucia Martincigh con Marina Di Guida e Andrea Recine
236	7.8.4.1. L'analisi della pericolosità
252	7.8.4.2. La valutazione del rischio "isola di calore"
256	7.8.5. Le azioni di coinvolgimento delle scuole sul tema dei rischi Anna Aluffi Pentini
259	7.8.6. Comunicare la ricerca attraverso il sito web OPERA Francesca Funicello

260 **Credits immagini**

263 **Bibliografia**

PREMESSA

Le finalità della ricerca, la sua articolazione, le possibili prospettive

Giovanna Spadafora

Nel gennaio 2019 l'Università Roma Tre ha cofinanziato, nell'ambito del Piano straordinario di sviluppo della ricerca¹, il progetto dal titolo *Redazione di un protocollo pilota per la prevenzione e la mitigazione dei rischi ambientali e l'attivazione di interventi sostenibili, applicabile ai centri urbani delle Aree Interne del Lazio*. Il progetto ha visto la partecipazione di 4 Dipartimenti (Architettura, Scienze, Ingegneria DICITA e Scienze della Formazione) con 24 docenti coinvolti e 12 tra assegnisti e collaboratori a contratto, presenti nelle diverse fasi del lavoro.

Il progetto di ricerca, cui abbiamo dato il nome *Opera*², nasce con l'obiettivo di dare un contributo al tema della prevenzione e mitigazione dei rischi naturali e ambientali in Italia attraverso la proposta di una metodologia finalizzata alla predisposizione delle azioni necessarie alla valutazione e alla programmazione degli interventi.

Il progetto *Opera* ha avuto come esito la definizione di un protocollo, ovvero di una procedura operativa che si propone, attraverso l'ipotesi di un sistema di finanziamenti regionali, di mettere le amministrazioni locali nelle condizioni di eseguire una valutazione qualitativa del rischio indotto da differenti eventi naturali (o rischio multi-hazard³) e di individuare le aree sulle quali intervenire in maniera prioritaria con le analisi di dettaglio, utili ai fini della predisposizione dei progetti di mitigazione.

Che la prevenzione dei rischi naturali e ambientali debba attuarsi attraverso una serie di attività ordinarie e continue e non essere, invece, avviata a valle del verificarsi di fenomeni naturali che, per diverse ragioni, possono avere effetti catastrofici è una posizione unanimemente condivisa. Tuttavia, è evidente che tali attività necessitano di procedure lunghe in termini di tempo e onerose in termini di impiego di risorse economiche e professionali, alle quali molti comuni non riescono a fare fronte. Per queste ragioni, il protocollo è stato pensato come uno strumento operativo di facile utilizzo, che possa aiutare i comuni delle Aree Interne del Lazio a indirizzare in maniera mirata le attività di prevenzione e mitigazione dei rischi naturali e ambientali, sulla base di una preliminare valutazione delle priorità di intervento, programmandone l'attuazione attraverso la predisposizione di progetti integrati di mitigazione. Ma anche un'altra considerazione ha guidato il nostro lavoro: la necessità, nell'ambito della prevenzione dei rischi, di tenere conto anche di quelli che producono effetti meno immediati, eclatanti e visibili rispetto ai danni provocati dalle inondazioni o dai terremoti, ma che, invece, hanno pesanti ricadute sulla salute dei cittadini e sulla qualità della vita⁴, come l'inquinamento acustico, quello da radon, quello atmosferico, il fenomeno dell'isola di calore, ecc. Tali rischi, all'interno del presente volume, sono stati

¹ Il Piano straordinario di sviluppo dell'Ateneo - Azione 4 "Azione sperimentale di finanziamento a progetti di ricerca innovativi e di natura interdisciplinare" - è stato strutturato in due fasi: una pre-call e una call finale. La prima fase ha avuto come obiettivo quello di verificare intorno a quali argomenti si raccogliessero il maggior numero di docenti afferenti ad aree disciplinari diverse, in modo da selezionare una serie di macro-temi per la call finale. Il nostro progetto di ricerca è stato, quindi, presentato all'interno del macrotema 2 *Sostenibilità: nuove tecnologie per l'ambiente e il territorio*, ed è stato finanziato in una seconda fase, a gennaio 2019 con un importo di 48.000 euro (comprensivi della quota di cofinanziamento).

² *Opera*, che non è un acronimo, vuole richiamare la necessità di operare consapevolmente e fattivamente alla messa in sicurezza del nostro territorio, delle popolazioni che lo abitano e, conseguentemente, del patrimonio tangibile e intangibile che lo contraddistingue.

³ Sulla definizione di rischio multi-hazard, valutato in questa ricerca, si veda il capitolo 4. In questa sede è opportuno anticipare che la procedura adottata considera solo la pericolosità e la vulnerabilità e che demanda la valutazione del danno alle successive analisi di approfondimento. Nel capitolo 5 verrà spiegato come applicare la procedura di valutazione multi-hazard, una volta ottenute le mappe qualitative dei rischi.

⁴ Su questi aspetti si veda il paragrafo 3.8.

indicati come rischi short-term, ovvero rischi il cui tempo di ritorno è breve rispetto a quelli indicati come rischi long-term, ovvero i rischi il cui tempo di ritorno è molto lungo (rischio sismico, idrologico/idraulico, vulcanico e il rischio frane). La messa a punto di una metodologia di valutazione del rischio multi-hazard, dunque, nasce dalla convinzione che sia necessario avere sul territorio e sull'edificato uno sguardo non settoriale ma ampio, che consideri il territorio come patrimonio (Magnaghi, 2020, p. 46) e gli interventi di prevenzione e mitigazione dei rischi come occasione per preservare, e in alcuni casi ripristinare, l'equilibrio tra attività umane e ambiente. In questo approccio operativo, il rilievo e l'analisi del patrimonio costruito, condotti dalla scala urbana fino a quella del dettaglio architettonico, contribuiscono alla perimetrazione delle SUM (Strutture Urbane Minime) identitarie, utilizzate come elemento "correttivo" nell'ambito della individuazione delle priorità di intervento, ma soprattutto concorrono a definire il quadro conoscitivo utile anche alla redazione degli interventi di mitigazione integrata.

L'idea alla base del nostro lavoro è dunque quella di sviluppare una metodologia operativa di carattere olistico che possa diventare, per i comuni, occasione di approfondimento e messa a sistema delle conoscenze acquisite nei vari ambiti sul proprio territorio, e di utilizzarle proficuamente anche per la prevenzione e mitigazione dei rischi. Questo tipo di approccio si inserisce nel quadro degli studi di tipo sistemico, che esaminano le trasformazioni che i territori e gli insediamenti urbani hanno subito nel tempo, con l'obiettivo di valutare la sostenibilità delle azioni che si intendono intraprendere (Corboz, 1985; Guzzo, 2002). Per questi motivi, il protocollo prevede il finanziamento di progetti di mitigazione integrata e sostenibile, di progetti, cioè, che considerino le conseguenze e le ricadute che ciascun intervento di prevenzione e mitigazione possa avere sugli altri elementi di rischio e, in generale, sul funzionamento degli ecosistemi e sugli assetti tradizionali dei paesaggi culturali e del patrimonio architettonico.

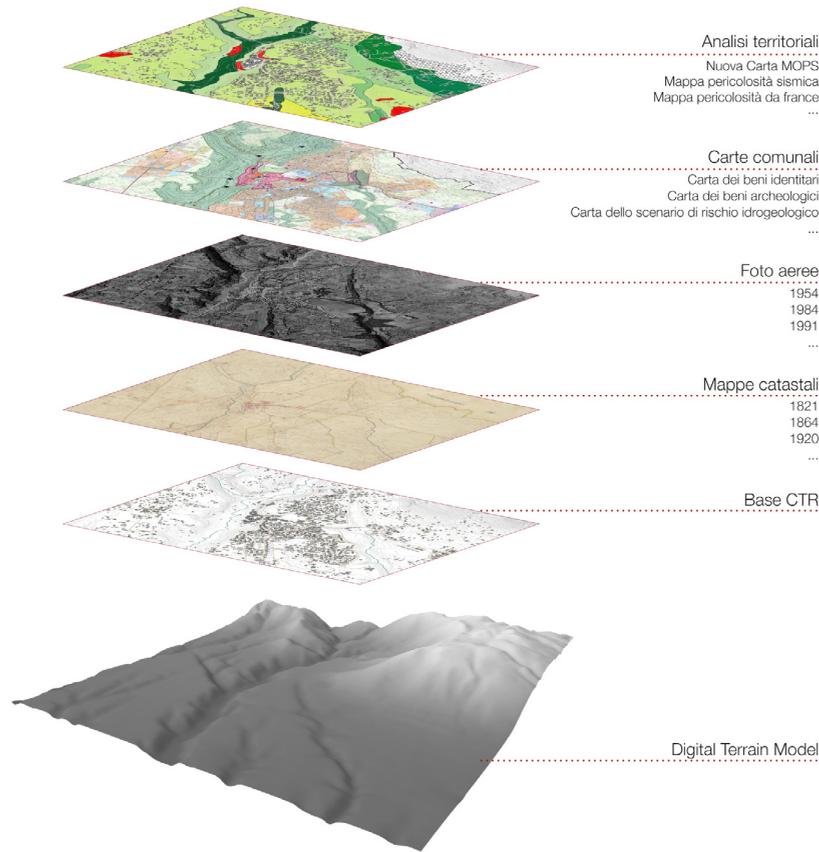
Lo studio si è concentrato su uno specifico ambito territoriale di applicazione: i comuni delle Aree Interne del Lazio. Tale scelta è stata determinata dalla convinzione, ampiamente condivisa, che questi possano assumere un ruolo determinante nell'ambito dei processi di sviluppo economico e che, viceversa, il loro spopolamento contribuisca ad amplificare gli effetti disastrosi degli eventi naturali, perché determina il venir meno di quella funzione di presidio svolta anche attraverso pratiche quotidiane di cura e vigilanza del territorio. Nell'ambito degli obiettivi della *Strategia Nazionale delle Aree Interne*, elaborata dall'*Agenzia per la Coesione Territoriale* nel 2013, il protocollo si configura come uno strumento attraverso il quale le regioni, promuovendo l'avvio di studi specifici orientati all'attivazione di interventi di prevenzione e mitigazione dei rischi naturali e ambientali, concorrono alla auspicata valorizzazione delle risorse esistenti nelle aree in un'ottica di sviluppo⁵. Tali attività, pertanto, possono incidere in maniera diretta su due dei punti focali individuati dalla strategia nazionale: *Tutela del territorio e comunità locali* e *Valorizzazione delle risorse naturali, culturali e del turismo sostenibile* e, in maniera indiretta, sul punto inerente alla necessità di recuperare i saperi locali che, nel contesto di questo progetto, possono essere riferiti alle conoscenze delle tecniche di costruzione tradizionali e di quelle adottate per la mitigazione dei rischi, alla lavorazione dei materiali e a tutto quanto pertiene agli interventi sull'edilizia storica, da quella monumentale a quella minore.

Il risultato della ricerca svolta si sostanzia, quindi, nella formulazione di un protocollo che contiene in sé due distinti prodotti, rivolti a due interlocutori: per la Regione, una possibile procedura di finanziamento rivolta ai comuni delle Aree Interne del Lazio; per le amministrazioni comunali, una possibile procedura per la redazione di piani programmatici di mitigazione del rischio basati su un'attenta analisi del rischio multi-hazard necessaria per l'individuazione delle priorità di intervento. È evidente, inoltre, come le procedure e le metodologie operative sviluppate nell'ambito del protocollo possano rappresentare, per i comuni, strumenti operativi finalizzati alla conoscenza territoriale indispensabile tanto per la messa in sicurezza quanto per le ordinarie pratiche di governo del territorio.

Nell'ambito di questa ricerca, i rischi presi in esame sono stati quello sismico, quello idrologico/idraulico, il rischio frane, il rischio legato alla presenza di gas radon, alle emissioni di gas dal sottosuolo e quello legato al verificarsi dell'isola di calore. Su questi si è lavorato per mettere a sistema una procedura che evidentemente può accogliere lo studio dei rischi derivanti dal verificarsi di altri fenomeni naturali o escluderne alcuni tra quelli da noi considerati.

⁵ Ci si riferisce al documento *Strategia nazionale per le Aree Interne: definizione, obiettivi, strumenti e governance*, p. 44, consultabile on line https://www.miur.gov.it/documents/20182/890263/strategia_nazionale_aree_interne.pdf

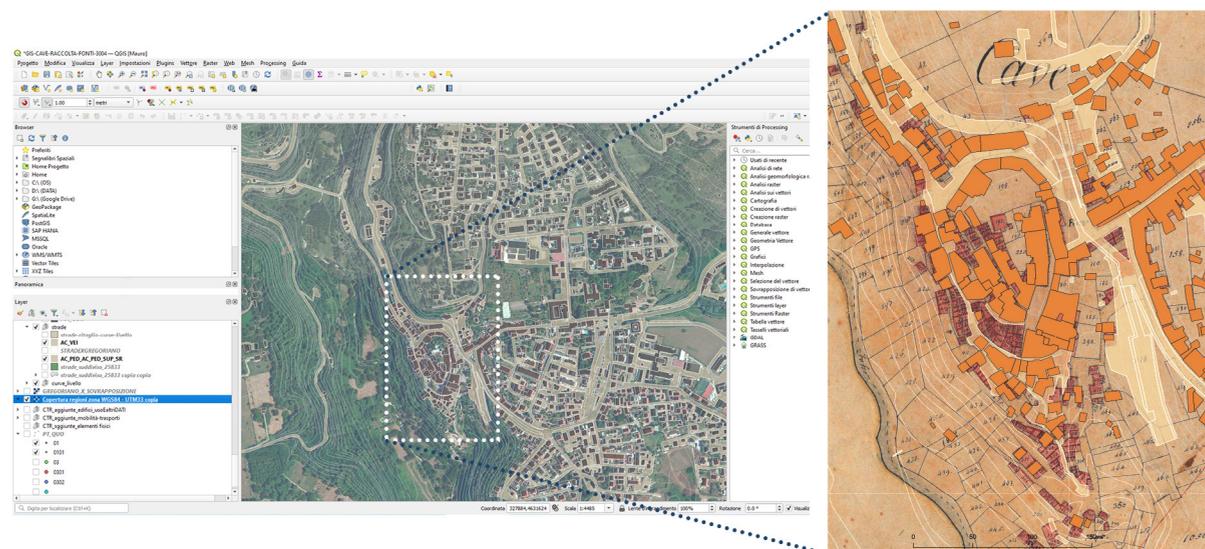
Esemplificazione delle carte georiferite all'interno della piattaforma GIS.



Il contenuto del volume

L'articolazione del volume in quattro parti ripercorre le fasi di confronto interdisciplinare svoltosi tra i componenti del gruppo di ricerca, che hanno lavorato con l'obiettivo di arrivare a definire una metodologia operativa nella quale le singole metodologie di lavoro, abitualmente messe in atto nei diversi ambiti tecnico-scientifici e umanistici, potessero integrarsi efficacemente nella direzione degli obiettivi prefissati.

Nella prima parte del volume è descritto l'esito finale del lavoro, ovvero la redazione di un *Protocollo operativo per la prevenzione e la mitigazione dei rischi ambientali e l'attivazione di interventi sostenibili*. Sono descritte la struttura e l'articolazione delle fasi della procedura, nonché specificati i compiti degli enti territoriali coinvolti, mentre si rimanda al capitolo 5 per le indicazioni operative da seguire ai fini delle valutazioni dei rischi che concorrono alla individuazione delle aree di intervento prioritarie. La necessità di predisporre un tale strumento di lavoro, che è al contempo uno strumento di indirizzo per le indagini e di programmazione per gli interventi, trova le sue ragioni nella convinzione che occorra tradurre la conoscenza - intesa come primo strumento di salvaguardia del territorio e dell'edificato - in politiche, e colmare la distanza tra gli attori che a vario titolo si occupano dello sviluppo e del governo del territorio (cfr. cap. 1). Gli ultimi tragici eventi, legati alla crisi sismica del 2016-17 e alle inondazioni, hanno messo in evidenza la necessità di implementare la conoscenza del nostro territorio secondo un'ottica storica, ovvero una conoscenza che tenga conto delle trasformazioni che hanno interessato, nel tempo, le varie componenti naturali e antropiche, considerando tutti i fenomeni nel loro divenire e non nel loro status quo. Integrare, quindi, la conoscenza di un territorio dal punto di vista geologico, geomorfologico, idraulico, ambientale con la conoscenza dei fenomeni di insediamento urbano e delle ragioni che hanno condizionato e orientato tali insediamenti, e ancora con la conoscenza delle tecniche e delle tipologie costruttive, significa riconoscere le singole identità e gli equilibri che ne hanno garantito la sussistenza. Tali elementi concorrono a definire il quadro delle azioni, siano esse preventive o di rigenerazione. La seconda parte (capp. 2 - 4), pertanto, raccoglie i contributi relativi alle metodologie di analisi e valutazione dei rischi considerati dal gruppo di ricerca, preceduti da una disamina di quelle messe in campo per la conoscenza del patrimonio costruito (cap. 2). Gli approcci metodologici descritti al capitolo 3 servono a definire il quadro scientifico all'interno del quale nasce la procedura di valutazione del rischio multi-hazard, indispensabile per l'individuazione delle aree di attenzione e delle priorità di intervento. Chiudono il capitolo 3 alcune considerazioni sui dati necessari per le valutazioni descritte, e sulla possibilità, per le amministrazioni comunali, di orientare in



La piattaforma GIS: gli edifici e la rete viaria del centro storico di Cave sovrapposti al disegno del catasto (1824) e alle curve di livello, che chiariscono la situazione altimetrica.

maniera proficua gli incarichi per la loro acquisizione, ovvero richiedendo tipologia, formato e scala tali che essi possano essere usati nella valutazione di più fattori di rischio. Il capitolo 4 introduce la valutazione combinata dei rischi, con una disamina degli strumenti operativi e dei progetti nazionali e internazionali. L'ultimo paragrafo affronta il tema della valutazione del rischio multi-hazard e sottolinea come la metodologia adottata nella presente ricerca si basi, per la combinazione dei rischi long-term nelle analisi di primo livello, sull'uso dei pesi proposti da Bathrellos *et al.* nel 2017.

La terza parte (capp. 5 - 6) è dedicata alla descrizione puntuale delle procedure da seguire per la valutazione del rischio⁶ così come proposto dal gruppo di ricerca, a partire dalla descrizione per l'impostazione del GIS (par. 5.2). La metodologia operativa prevede, infatti, che i comuni si dotino di una piattaforma GIS, opportunamente strutturata secondo le indicazioni contenute nel paragrafo 5.2, nella quale dovranno confluire anche le analisi condotte sul patrimonio costruito, secondo quanto riportato nel capitolo 2, analisi utili anche ai fini della individuazione delle SUM identitarie e funzionali. Le metodologie adottate nelle valutazioni dei vari rischi long-term e short-term presi in esame sono descritte e sintetizzate in schede operative.

Il paragrafo 5.9 illustra come elaborare le mappe dei rischi long-term e le mappe del rischio multi-hazard⁷ e, successivamente, di come le aree di attenzione, ovvero le aree in cui sono ricompresi edifici, spazi pubblici e infrastrutture potenzialmente interessate da più hazard, possano essere messe in ordine di priorità di intervento grazie alla sovrapposizione delle SUM e dei risultati delle valutazioni dei rischi short-term. La metodologia proposta dal gruppo di ricerca permette, quindi, di elaborare una mappa che consente alle amministrazioni di programmare in maniera mirata l'esecuzione delle valutazioni di approfondimento e i conseguenti progetti di mitigazione, avendo un quadro completo dei rischi che interessano il patrimonio e le infrastrutture.

Questa metodologia di valutazione del rischio multi-hazard può essere avviata dai comuni a partire da dati che, spesso, sono già in loro possesso - come descritto al paragrafo 3.9 - oppure essere finanziata dalla Regione, grazie alla procedura prevista dalla prima fase di attuazione del protocollo (cfr. cap. 1).

Chiude la terza parte il capitolo 6, che raccoglie una serie di contributi inerenti agli interventi di prevenzione e mitigazione dei rischi considerati, tra i quali trovano posto anche le attività di coinvolgimento della popolazione: una comunità consapevole dei rischi e delle risorse del proprio territorio, della complessità dell'equilibrio che governa la relazione tra il sistema ambientale/naturale e quello antropico, può orientare i propri comportamenti agendo nella direzione di preservare tale equilibrio e considerare la sostenibilità dei propri interventi sul territorio e sull'edilizia. La quarta parte del volume (cap. 7) è dedicata al caso di studio: la città di Cave (RM). La metodologia proposta è stata applicata al territorio comunale e la collaborazione con l'amministrazione ne ha consentito una verifica in itinere.

Il capitolo 7, quindi, presenta gli esiti delle ricerche condotte sul contesto territoriale, sul tessuto urbano e sui tipi edilizi presenti a Cave, nonché i risultati delle valutazioni dei rischi, effettuate secondo la metodologia messa a punto.

⁶ Come anticipato alla nota 3, la procedura adottata nelle analisi preliminari del rischio considera solo la pericolosità e la vulnerabilità, allo scopo di ottenere le mappe qualitative del rischio.

⁷ Cfr. nota 3.

A valle della individuazione delle priorità di intervento, sono stati condotti alcuni approfondimenti relativi alla valutazione della risposta sismica locale, del rischio sismico e del rischio dovuto al fenomeno dell'isola di calore. Tali approfondimenti sono esemplificativi di quelli da condursi per orientare efficacemente le azioni di mitigazione dei rischi e sono stati condotti sul territorio e sull'edificato di Cave, anche grazie alla sperimentazione delle metodologie che è stato possibile introdurre nei corsi della laurea magistrale in Architettura-Restauro e in occasione di tesi di laurea magistrali in Geologia, Ingegneria e Architettura, come specificato nel testo. Sono state, altresì, svolte alcune attività di coinvolgimento della popolazione scolastica, sia della scuola primaria sia di quella secondaria di primo e secondo grado, i cui esiti sono illustrati nel paragrafo 7.8.5. La risposta delle scuole è stata straordinaria ma, a causa della pandemia, non è stato possibile realizzare la seconda parte del progetto che prevedeva ulteriori azioni di coinvolgimento e sensibilizzazione anche della popolazione adulta.

La questione del coinvolgimento della popolazione, auspicato dalla Comunità Europea nei processi decisionali di governo del territorio, richiede che il legame tra società e territorio sia costruito attraverso la trasmissione di conoscenze approfondite e concrete. A tale proposito, Eugenio Turri sottolinea che tali conoscenze, un tempo tramandate dai genitori ai figli, dovrebbero essere trasmesse, come materia d'obbligo, dalla scuola (Turri, 2002, p. 33) per sostanziare, come sostiene Leonardo Rombai, il senso civico paesistico-ambientale e territoriale regionale (Rombai, 2015, p. 170) che a partire dalla scuola si diffonderebbe nel tessuto sociale. Disseminati negli Atenei e negli Enti di ricerca, infatti, esistono numerosi studi condotti sul territorio e sui centri storici che potrebbero essere proficuamente ripresi, ed eventualmente integrati, non solo per desumerne i dati utili alla conduzione delle analisi descritte nel protocollo, ma anche per costruire quel bagaglio di conoscenze indispensabili da condividere con le diverse comunità affinché possano riconoscersi e farle proprie. In tal senso, un contributo importante alla disseminazione è venuto dalla progettazione del sito web Opera, di cui si è occupata Francesca Funicello con Francesca Vitalini, grazie anche al supporto tecnico di Ivan Guiducci.

Hanno partecipato alla ricerca:

Partners

Università degli Studi Roma Tre
Comune di Cave

Responsabile scientifico del progetto

Giovanna Spadafora

I Dipartimenti e i docenti coinvolti:



Dipartimento di Scienze

Valerio Acocella, Fabio Cammarano, Francesca Cifelli, Domenico Cosentino,
Giuseppe Della Monica, Francesca Funicello, Paola Molin, Michele Soligo, Paola Tuccimei



Dipartimento di Architettura

Alessandro Bergami, Marco Canciani, Mario Cerasoli, Laura Farroni, Lucia Martincigh, Camillo Nuti, Silvia Santini, Giovanna Spadafora, Francesca R. Stabile, Saverio Sturm, Michele Zampilli



Dipartimento di Ingegneria Civile, Informatica e delle Tecnologie Aeronautiche

Fabrizio Paolacci, Elena Volpi, Alessandro Neri (ora DIIEM)



Dipartimento di Scienze della Formazione

Anna Aluffi Pentini

PhD, assegnisti, collaboratori a contratto

Giulia Brunori, Martina D'Aversa, Marina Di Guida, Allegra Eusebio, Gabriele Fiorentino, Valentina Gambetti, Andrea Recine, Martina Restifo, Silvia Rinalduzzi, Mauro Saccone, Elisabetta Tortora, Francesca Vitalini

INTRODUZIONE

Conoscere, rappresentare, intervenire

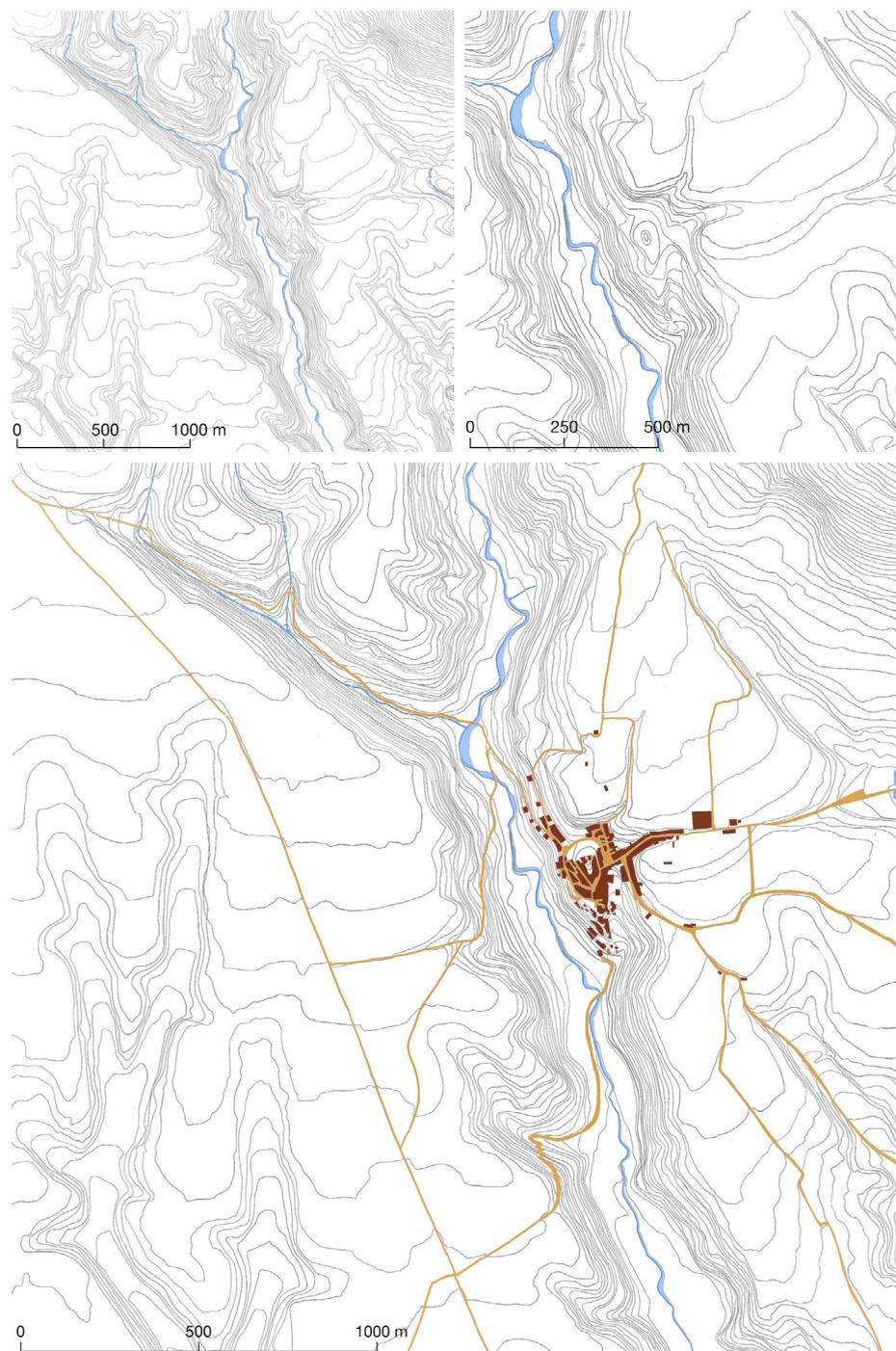
Giovanna Spadafora

Gli eventi drammatici legati al verificarsi di fenomeni naturali, come i terremoti e quelli in parte indotti o amplificati da una cattiva gestione del territorio come le alluvioni, alimentano, nel nostro Paese, un ininterrotto dibattito su quali interventi di mitigazione e prevenzione sarebbe opportuno mettere in atto prima del verificarsi di tali fenomeni, e su cosa fare invece a valle degli stessi: se, come, cosa e quando ricostruire¹. In entrambi i casi le azioni del *prima* e del *poi* sono orientate alla salvaguardia del patrimonio materiale – che porta con sé la salvaguardia di una vasta gamma di patrimoni immateriali e, in primo luogo, gli affetti e i posti di lavoro.

In Italia, il dibattito sulla salvaguardia dei centri storici, sulla necessità del riconoscimento e della tutela dei loro caratteri identitari, ha preso avvio fin dalla fine dell'Ottocento, strutturandosi a partire dagli anni Sessanta del Novecento in una forma più concreta, dando vita a un ampio dibattito in cui il tema è stato affrontato con rinnovata attenzione al tessuto urbano e al paesaggio (si veda in proposito Stabile, 2009, pp. 47-66). Tuttavia, non a tutto il territorio italiano è stato riservato lo stesso sguardo attento e lo stesso studio puntuale, perché l'urgenza di dare risposta a problemi contingenti ha spesso determinato profonde differenze nell'approccio al tema della tutela lungo la nostra penisola. È mancata, in ogni caso, una capillare diffusione delle conoscenze acquisite, e anche nei contesti più virtuosi non sempre si è avuta una loro ricaduta diretta e operativa capace di innescare processi di tutela e di influire su quelli di pianificazione degli interventi, sia alla scala territoriale sia urbana. Tuttavia, è evidente che – in generale e nello specifico della prevenzione e della mitigazione dei rischi – gli interventi da intraprendere non possano (o non dovrebbero) prescindere da una approfondita conoscenza dei fenomeni che hanno interessato i territori e gli insediamenti, acquisita attraverso una analisi interdisciplinare e interscalare dall'insieme al dettaglio.

Molti dei caratteri peculiari dei piccoli centri urbani disseminati sul nostro territorio sono ormai scomparsi. Interventi di adeguamento igienico sanitario, aggiunta di nuove parti, sostituzione di infissi per migliorare il comfort interno (ma anche per inseguire una superficiale idea di modernizzazione), rifacimento delle coperture, introduzione di nuovi impianti hanno in molti casi del tutto trasformato gli edifici, obliterandone anche quei dettagli architettonici che li connotavano come elementi distintivi e identitari del tessuto urbano più antico; altri sono stati abbandonati e lasciati a un inesorabile declino materico e strutturale. I centri abitati e i paesaggi sono esito di stratificazioni continue e la loro identità non è un valore assoluto: essa cambia nel tempo con i cambiamenti che intervengono all'interno dei sistemi sociali. Pertanto, il termine "identitario" applicato in questo contesto e inteso nella sua accezione di qualità positiva, si riferisce ai diversi aspetti architettonici e paesaggistici riconoscibili come peculiari di una determinata area sociale e culturale. Tale riconoscimento o attribuzione dell'aggettivo "identitario" deve trovare la propria forza nella lettura storico/processuale delle trasformazioni; ma stabilire cosa rientri o no in questa categoria per una collettività è il risultato di una scelta (Remotti 1999, p. 7). Di fatto, esiste un ampio patrimonio di conoscenze, esito degli studi e delle ricerche che ininterrottamente hanno interessato il nostro territorio e che hanno sottolineato la necessità di considerare in primo luogo le ragioni che hanno presieduto al formarsi della stretta relazione tra ambiente e insediamenti, e di guardare ad essi come l'esito di un processo di adattamento e trasformazione continua, determinato da vicende storiche, sociali, economiche, tecniche, eccetera. La sistematizzazione di tali risultati potrebbe confluire in un archivio che ribadisca le differenze, presenti lungo tutta la penisola, nella strutturazione dei paesaggi e, alla scala degli edifici, nelle tecniche costruttive, nelle tipologie edilizie e nei caratteri architettonici, utile a scongiurare interventi di prevenzione dei rischi omologanti e indifferenti ai singoli contesti. Archivi di conoscenze, sempre implementabili, ai quali si possa attingere per lavorare, programmare, condividere azioni e buone pratiche.

¹ Si veda tra gli altri, in proposito, il volume di recente pubblicazione *Ricostruire Arquata* (Zampilli, Brunori, 2021).



Schemi grafici realizzati per lo studio delle relazioni tra forma del territorio, rete dei percorsi e primo nucleo insediativo. In alto, a sinistra, inquadramento territoriale, a destra, un dettaglio dell'area del primo insediamento urbano con la ricostruzione grafica dell'originario assetto morfologico. In basso, la rete dei percorsi e l'edificato desunto dai catastri del 1821 e del 1824.

Il termine *conoscenza* è una parola che il dizionario descrive come *fenomeno estremamente intimo*, quel tipo di sapere che dà, tra l'altro, forma all'etica. E quindi, nello specifico del tema che ci interessa in questa sede, all'etica degli interventi da adottare, non solo nelle fasi post emergenza, ma anche nel fare quotidiano, per orientare le inevitabili trasformazioni che i luoghi subiscono, anche per adeguarsi ai cambiamenti degli stili di vita: in questo senso, la conoscenza è, quindi, se ben usata, già una prima azione di salvaguardia². Tra i vari strumenti che concorrono alla acquisizione della conoscenza, il disegno ha un ruolo essenziale anche nell'opera di riconoscimento del carattere

² «La conoscenza sottintende che si sappia dare un significato agli oggetti territoriali, riconoscere le valenze storiche, culturali, fisiche e ambientali in modo che ogni nuova azione o nuovo intervento si saldino armonicamente e funzionalmente con il contesto preesistente» (Turri, 2002, p.7).

di un luogo, considerato nella accezione datane da Christian Norberg-Schulz (Norberg-Schulz, 1979). Se è vero, infatti, che si rappresenta ciò che si conosce, è altrettanto vero che la rappresentazione, intesa come sintesi analitico/grafica del reale, è di per sé strumento di conoscenza, attraverso il quale essa si struttura, si approfondisce e si orienta. *Conoscenza e rappresentazione* sono, quindi, in una posizione intercambiabile e, nello specifico degli studi sul territorio e sull'edificato, entrambi concorrono alla definizione del quadro degli interventi. Rilevare e disegnare – intese come pratiche dell'osservazione attenta – aiutano a discretizzare il reale e a cogliere, in un insieme che spesso ha subito pesanti trasformazioni, quegli elementi che si riferiscono a una maniera *saggia* di costruire perché frutto di un lungo processo di adattamento all'ambiente (cfr. Worster, 1994): cifre che appartengono indissolubilmente al luogo per le tecniche, le forme e i materiali impiegati. La rappresentazione comporta perciò un lavoro di analisi che si svolge a scale diverse, da quella del territorio a quella del tessuto urbano, da quella architettonica fino a quella dei singoli dettagli, e che è in grado di ricomporre in una sintesi unitaria la storia socioeconomica e la cultura materiale delle singole comunità.

Il problema della salvaguardia dei centri storici è, infatti, un problema essenzialmente culturale. Un rischio, fra gli altri, è quello che si creino, in comunità per più motivi meno consapevoli, false rappresentazioni dei caratteri identitari degli insediamenti urbani, per la diffusione di una pericolosa vulgata transnazionale che concede il via libera a qualsiasi intervento se solo risponde all'applicazione di alcuni stereotipi di ciò che è considerato "storico" – per esempio coppi in laterizio, lattonerie in rame, archi, eccetera, anche se non sono mai esistiti in quei contesti. E ciò vale anche per gli assetti paesaggistici, che sono anch'essi profondamente storici e che vanno conosciuti nella loro dimensione evolutiva. Perciò l'azione necessaria – e forse più problematica, immediatamente successiva alla formazione della conoscenza – è quella della sua diffusione e condivisione, ovvero la ri-costruzione del senso di appartenenza ai luoghi, che si struttura attraverso il riconoscimento della interdipendenza tra beni naturali e dei beni culturali, intesi come valori unici. Le discipline della rappresentazione assumono quindi il compito di rendere visibili tali valori, attraverso la costruzione di immagini che li rendano manifesti. Ma non solo. Alla rappresentazione spetta ancora il ruolo di generare sintesi efficaci dei segni inerenti alla struttura profonda del territorio e dei caratteri propri dell'edificato, sintesi indispensabile soprattutto oggi, di fronte alla ormai generalizzata possibilità di guardare i luoghi dall'alto o ad altezza d'uomo pur senza percorrerli. Le rappresentazioni così intese, quindi, materializzano uno sguardo o, meglio, più sguardi: quelli degli studiosi che analizzano i fenomeni nel tempo lungo, ma che possono anche arricchirsi delle suggestioni attivate dalla pluralità di sguardi che appartengono alla comunità che abita e vive il territorio³. La rappresentazione può, quindi, diventare il luogo dove tali frammenti costruiscono nuovi e imprevisi racconti.

Per questi motivi, l'approccio interdisciplinare allo studio del territorio adottato in questa ricerca, in funzione della prevenzione e della mitigazione dei rischi naturali e ambientali, si è articolato secondo vari livelli e varie scale di indagine e ha affiancato ai dati più tecnici, indispensabili alla conduzione delle analisi proprie delle scienze dure, la descrizione dei caratteri distintivi e peculiari del territorio e dell'edificato, indispensabili anche nelle successive fasi di intervento. Tali indagini sono state condotte lungo una sequenza di letture verticali e orizzontali, inevitabilmente correlate: la conoscenza dei processi di formazione geologica di un'area ci aiuta a comprendere le ragioni della forma del suolo e della sua consistenza materiale; e questa lettura, che scende verticalmente a indagare gli strati sottostanti la superficie di ciò che appare, rivela le ragioni dei modelli insediativi e organizzativi delle comunità basati su una profonda conoscenza dell'ambiente, che ha consentito di stabilire con esso un rapporto adattivo di lunga durata. La cartografia storica testimonia l'evolversi dei rapporti tra società e territorio: l'analisi del sistema dei percorsi e della localizzazione degli insediamenti ne restituisce le modalità di occupazione e può materializzare, supportata da altre fonti, anche ciò che nella carta è invisibile, ovvero la rete del controllo visuale del territorio.

Ciascuna rappresentazione grafica esprime, quindi, attraverso l'uso della scala adeguata, la risposta a una specifica domanda, ma le immagini che ne risultano si caricano di un ulteriore potenziale: possono risultare efficaci per generare nuove riflessioni, deduzioni e spunti progettuali sia che rimandino, per similarità, al proprio referente (Lucchesi, 2005, p.28), sia che se ne distacchino prediligendo una figurazione astratta⁴.

La possibilità di confrontare e condividere i risultati delle analisi che ciascuna disciplina conduce a scale diverse ed esprime attraverso differenti modalità grafiche ha trovato, naturalmente, nell'uso del GIS uno strumento efficace per verificarne le interazioni. Per mezzo del GIS è possibile, infatti, guardare al territorio attraverso le discipline coinvolte nel processo di conoscenza e di analisi e correlare le informazioni di natura diversa riconducendole a un comune linguaggio astratto. Al di là, quindi, della possibilità di visualizzare e sovrapporre in maniera sequenziale

³ Sulle azioni di coinvolgimento della popolazione nei processi di conoscenza del territorio e di condivisione delle linee di intervento esiste un'ampia bibliografia. Tra gli altri, si vedano i saggi nel testo Magnaghi (2005) specificatamente centrati sulla rappresentazione identitaria.

⁴ A proposito delle immagini e del loro potenziale evocativo, indipendentemente dalla somiglianza con quanto rappresentato, si veda il testo di Franzini, 2001, in particolare le pagine 1-10.

cartografie storiche e attuali, georiferite, e mappe dei vari rischi considerati, la ricerca ha lavorato sulle informazioni multiscalarari trasferendo quelle associate ad elementi areali alla scala territoriale, ai singoli edifici, sperimentando una modalità di associazione del dato⁵.

L'obiettivo è stato quello di fornire alle amministrazioni comunali delle Aree Interne del Lazio una possibile metodologia operativa in grado di tenere insieme valutazioni e analisi interdisciplinari alle diverse scale, in un processo di indagine sul territorio e sull'edificato che integra ciò che può essere compreso se osservato da lontano, con quello che è necessario sia osservato da vicino, attraverso rappresentazioni grafiche che, singolarmente considerate, si muovono su differenti registri comunicativi. Ciò per valutare i fenomeni, i loro processi e le loro interazioni (Turri, 2002, p. 30) e guidare, nel caso specifico degli obiettivi della ricerca, gli interventi di prevenzione e mitigazione dei rischi naturali secondo una visione che non metta in contraddizione natura e cultura, e che Alberto Magnaghi ha definito come "sapienza ambientale" (Magnaghi, 2000, p. 76).

Nota per i lettori:

Nel testo alcuni termini vengono utilizzati sia in inglese sia in italiano: multi-hazard e multipericolosità, multi-hazard risk e multirischio. Per una loro definizione si veda il paragrafo 4.1.

Per quanto riguarda, invece, i termini Hazard e Risk, si specifica quanto segue.

Hazard è qualcosa che può causare danno, fisico e non, a persone o cose, o effetti negativi sulla salute. Il che significa che anche fenomeni di per sé positivi potrebbero diventare un pericolo.

Risk è la probabilità, alta o bassa, che qualsiasi pericolo (Hazard) realmente danneggi qualcuno o qualcosa. Come detto, e come illustrato al paragrafo 4.4, nella presente ricerca è stata utilizzata una metodologia di valutazione multi-hazard.

Per le immagini che sono rielaborazioni di immagini preesistenti, o elaborazioni eseguite da persone diverse rispetto agli autori del testo, si vedano i credits.

⁵ Per la sperimentazione di questo processo, finalizzato alla individuazione delle aree su cui intervenire in maniera prioritaria, in funzione dei rischi che vi insistono, si veda, nel testo, il capitolo 5 e il paragrafo 7.7.

PARTE I
IL PROGETTO OPERA

1 Il risultato della ricerca: un protocollo operativo

Mario Cerasoli, Allegra Eusebio

1.1. Premessa: la mancanza di un approccio strutturale alla mitigazione del rischio in Italia

La programmazione e la progettazione di piani, programmi e progetti di mitigazione dei rischi ambientali è un campo estremamente eterogeneo. È caratterizzato da una forte multidisciplinarietà per quanto riguarda i saperi tecnici e specialistici, così come da una marcata multi-attorialità, coinvolgendo su diversi livelli gli enti che si occupano di pianificazione e governo del territorio.

Tanto in letteratura, quanto nella pratica è evidente come la prevenzione e mitigazione dei rischi naturali ancora oggi non sia trattata come materia ordinaria nel panorama italiano della pianificazione territoriale ed urbanistica, nonostante l'intensificarsi della frequenza e rilevanza dei disastri naturali, anche dovuta ai cambiamenti climatici, stia sempre più richiamando l'attenzione sul tema. A livello nazionale la questione viene trattata con la logica emergenziale, ignorando quindi la necessità di affrontare il tema della mitigazione del rischio in maniera sistematica e strutturale e continuando a sprecare risorse che potrebbero essere meglio investite in interventi di prevenzione anziché di ricostruzione.

Ciò è facilmente riscontrabile se si considera che, fatte salve alcune eccezioni¹, la pianificazione territoriale e urbanistica, competenza delle Regioni (in regime di legislazione concorrente), continuano ad essere slegate dal tema del rischio, che invece è una competenza diretta dello Stato. Stato che, invece, solo da qualche tempo – a seguito della “sequenza sismica di Amatrice, Norcia e Visso del 2016-2017”² – ha prestato attenzione al tema, come dimostra la politica di incentivi fiscali destinati all'adeguamento antisismico degli edifici, che ha dato vita ai vari *Sismabonus*.

Eppure, si tratta ancora una volta di provvedimenti slegati e scarsamente coordinati, che accentuano la mancanza di direttive nazionali che unifichino le pratiche di mitigazione del rischio e che sottolineano ancor di più il fatto che l'approccio alla mitigazione continua a non essere svolto in un'ottica integrata e multi-hazard.

Tenendo quindi in considerazione questa premessa, non sorprende la difficoltà incontrata dagli attori che si occupano di governo del territorio nel trattare il tema della mitigazione del rischio. Tra le maggiori criticità riscontrate troviamo:

- La scarsa integrazione tra pianificazione urbanistico/territoriale e provvedimenti finalizzati alla mitigazione dei rischi;
- Il disordine nei ruoli e competenze dei diversi attori coinvolti;
- La difficoltà nella definizione di scenari multi-rischio completi e coerenti;
- La difficoltà nell'attuazione di programmi e progetti di mitigazione del rischio sistemici e strutturali, che ben si integrino con gli altri obiettivi della pianificazione ordinaria e che siano indipendenti dai cambi di amministrazione ed dall'instabilità della politica (Balducci, 2019).

In aggiunta a quanto descritto nelle righe precedenti, vi sono poi forti differenze territoriali e amministrative che complicano ulteriormente il quadro. Il complicato processo di gestione della mitigazione del rischio è infatti

¹ Si citano ad esempio la Legge Urbanistica della Regione Calabria (*Norme per la tutela, governo ed uso del territorio*, L.R. 16 aprile 2002, n. 19) e la Legge Urbanistica della Regione Umbria (*Legge regionale 21 gennaio 2015*, n. 1, “Testo unico Governo del territorio e materie correlate), che introduce nel Piano Regolatore Generale la definizione di SUM Struttura Urbana Minima, ai fini della riduzione della vulnerabilità sismica negli insediamenti urbani.

² Si tratta della definizione ufficiale che l'INGV ha dato per i terremoti di Amatrice e dell'Umbria verificatosi tra agosto 2016 e gennaio 2017.

ancora più difficile per i comuni con meno risorse sia umane che finanziarie, in particolare i piccoli comuni (< 5.000 abitanti) appartenenti all'esteso territorio delle Aree Interne italiane (di cui più ampiamente si parlerà nel paragrafo seguente).

L'idea di costruire un *Protocollo per la prevenzione e la mitigazione dei rischi ambientali e l'attivazione di interventi sostenibili, per i centri urbani delle Aree Interne del Lazio nasce sulla base dell'esigenza di dare una risposta organica a tutte queste criticità, abbandonando la logica emergenziale dell'intervento post-disastro e affrontando quella costruttiva della prevenzione programmata e sistematica.*

1.1.1. Aree Interne e territori fragili

Le dinamiche dei “territori fragili”, da ormai vent'anni, alimentano in Italia un vasto e sempre più importante dibattito multidisciplinare, urbanistico, socioeconomico e politico.

I territori fragili sono quelle “periferie” del territorio nazionale che corrispondono sostanzialmente alle cosiddette Aree Interne che, secondo l'Agenzia per la Coesione Territoriale, identificano quei territori i cui centri urbani principali sono distanti dai centri di erogazione dei servizi pubblici, o “poli urbani”. Tali aree (Fig. 1) rappresentano una porzione ampia (quasi il 60% del totale) quanto disomogenea del territorio nazionale, caratterizzata da traiettorie di sviluppo instabili - tuttavia con risorse che mancano nelle aree “centrali” - e criticità demografiche (ormai vi risiede poco più del 20% della popolazione nazionale) - ma anche fortemente policentrica e con un forte potenziale di attrazione.

Al fine di comprendere meglio la complessità di questi territori, L'Agenzia per la Coesione Territoriale ha identificato all'interno delle Aree Interne quattro classi di comuni, a seconda dei tempi di viaggio (t) necessari per raggiungere i poli urbani:

- aree intermedie: 20 minuti < t < 40 minuti
- aree periferiche: 40 minuti < t < 75 minuti
- aree ultraperiferiche: t > 75 minuti

La distribuzione dei comuni, per popolazione e superficie, è illustrata nella seguente Tabella 1:

		Popolazione	%	superficie (km ²)	%
ITALIA		59.433.744	100	302.072,84	100
- Poli urbani		46.104.994	77,6	121.535,21	40,3
- Aree Interne		13.328.750	22,4	180.537,63	59,7
	<i>intermedie</i>	8.832.422	66,3	88.187,28	48,8
	<i>periferiche</i>	3.812.271	28,6	72.829,47	40,3
	<i>ultraperiferiche</i>	684.057	5,1	19.520,88	10,8

Tabella 1

Aree Interne: distribuzione dei comuni (fonte: Agenzia per la Coesione Territoriale; ISTAT, 2014).

La maggioranza dei comuni che si trovano in Aree Interne sono situati in aree economicamente depresse (prevalentemente nel centro e sud Italia) e in territori montani (aree con rugosità media e alta), lungo le Alpi e gli Appennini. Ma, soprattutto, questi territori sono caratterizzati da un'alta esposizione ai rischi naturali (frane e terremoti *in primis*).

Dalla fine della Seconda Guerra Mondiale, le Aree Interne sono state interessate da dinamiche di spopolamento, di cui tuttavia non si è tenuto adeguatamente conto. L'abbandono delle campagne, dovuto anche alla Riforma Agraria del 1950, e lo svuotamento dei centri storici hanno rappresentato il rovescio della medaglia del cosiddetto boom economico degli anni tra il 1958 e il 1962, che ha visto crescere le grandi città e la diffusione di nuovi modelli insediativi orientati alla suburbanizzazione.

Causa ed effetto di queste dinamiche sono state la riduzione dei livelli di accessibilità, le opportunità di lavoro e la distribuzione dei servizi pubblici nei territori “periferici”.

Ma, oggi ben più allarmante, l'abbandono della popolazione ha portato progressivamente e inesorabilmente alla riduzione se non alla scomparsa di quelle attività tradizionali di presidio territoriale che erano alla base della mitigazione dei rischi naturali.

La presenza dell'uomo nei territori garantiva infatti il controllo del territorio, sia attraverso le attività economiche che in esso vi si svolgevano che mediante quelle attività comunitarie che erano alla base dei cosiddetti "usi civici" (caccia, pascolo, semina, legnatico, fungatico, ecc.) che per secoli sono stati tutelati e che hanno sempre rappresentato la forma di monitoraggio condiviso e responsabile del territorio.

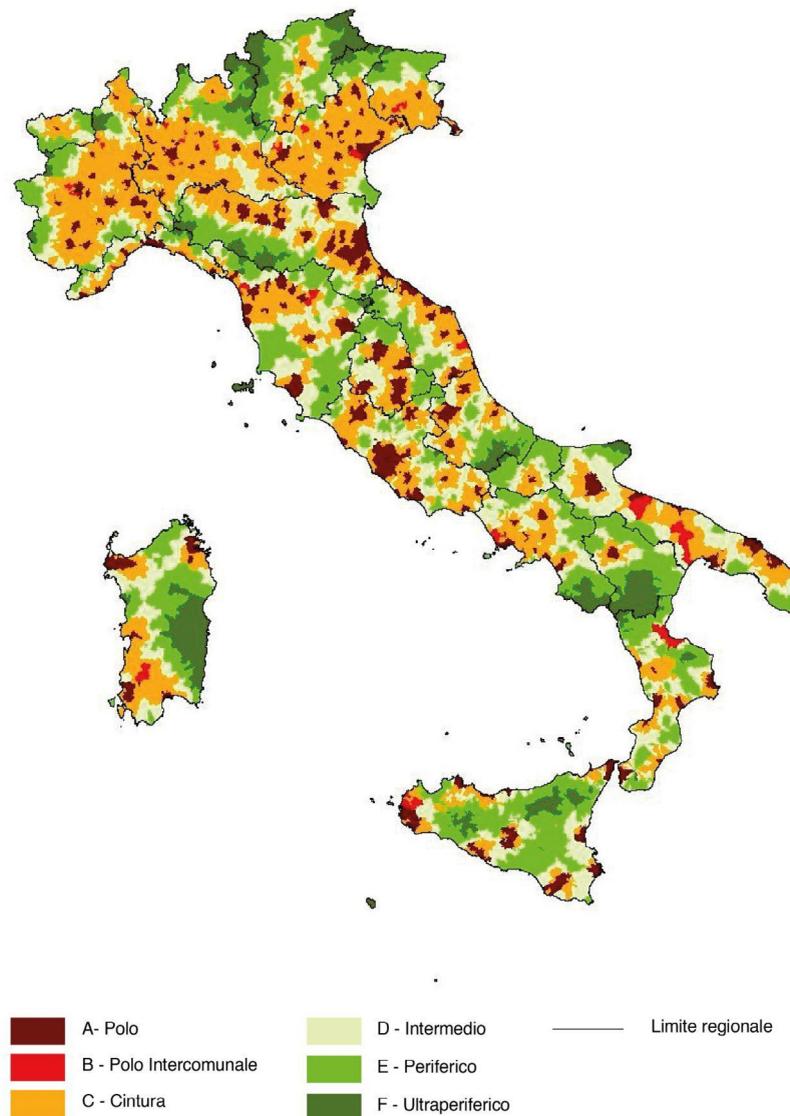
Il 93,2% dei comuni delle Aree Interne oggi è costituito da piccoli comuni (con meno di 5.000 abitanti) e contano il 63,2% della popolazione e l'85,6% della superficie complessiva delle stesse. Un territorio che coincide con quello soggetto a diversi rischi naturali (sismico, idrogeologico, incendi boschivi, ecc.).

Si tratta di un territorio che racchiude un patrimonio storico, urbano e culturale, di incommensurabile valore e un immenso potenziale economico e sociale, che merita di essere attivamente protetto – e non solo dopo catastrofi naturali – e valorizzato. Protezione e valorizzazione che devono essere attuate attraverso politiche integrate volte al riequilibrio territoriale e allo sviluppo sostenibile, per garantire in primo luogo, livelli adeguati di accessibilità, di sostentamento economico, di qualità urbana e ambientale e di sicurezza.

In un'epoca in cui ormai sono chiari per tutti gli effetti sempre più disastrosi del cambiamento climatico, la mitigazione dei rischi naturali soprattutto nei territori minori e fragili è un'azione chiave che non può essere ulteriormente rinviata. Ma che può costituire una delle prime azioni concrete per riattivare le economie locali di questi territori.

Fig. 1

Mappa Aree Interne
2020: Distribuzione dei
comuni per fascia
(fonte: Nota Tecnica
NUVAP Dipartimento per
le Politiche di Coesione).



1.2. Definizione, obiettivi e struttura del Protocollo

Un *protocollo* può essere definito come quel “complesso delle regole, norme, azioni e processi da applicare in un determinato ambito”³. Esempi comuni sono il protocollo diplomatico, il protocollo sanitario o il protocollo informatico. Nel caso specifico, l’adozione di uno strumento come il protocollo appare ottimale per mettere a sistema e rendere coerenti una serie di azioni multiple, che coinvolgono molteplici attori e che necessitano di un filo conduttore chiaro e ben definito.

Il *Protocollo per la prevenzione e la mitigazione dei rischi ambientali e l’attivazione di interventi sostenibili*, frutto di questo articolato lavoro di ricerca, vuole rappresentare uno strumento di sistematizzazione della conoscenza, finalizzato alla semplificazione dei processi di analisi e valutazione del rischio ed alla predisposizione di progetti di mitigazione. Pur accettando il bisogno operativo di semplificazione del processo, il protocollo riconosce però la necessaria complessità di tale operazione e propone quindi un procedimento che riconosca entrambi gli aspetti.

Come già introdotto nel paragrafo 1.1, alla base della ricerca che ha portato a tale documento vi è il riconoscimento dell’esistenza di un gap strutturale nelle pratiche di mitigazione del rischio a livello nazionale, che porta inevitabilmente ad una mancanza di strumenti pratici ed approcci condivisi. È da considerarsi quindi di vitale importanza il capillare e attento lavoro di raccolta di dati, esperienze e metodologie finalizzato alla definizione di quadri multidisciplinari di conoscenza territoriale e del rischio, necessari per definire i contenuti operativi del protocollo e i ruoli dei diversi attori coinvolti, nonché scandire le fasi temporali del procedimento.

La forza di tale lavoro consiste infatti nel suggerire una possibile soluzione che da un lato presuppone che vengano destinati dei fondi per la mitigazione del rischio e propone quindi un procedimento affinché questi fondi vengano utilizzati in maniera ottimizzata e strutturale, mentre dall’altro fornisce gli strumenti pratici ed operativi alle professionalità che si dovranno occupare del processo.

Infine, il protocollo può rappresentare un esempio di “buone pratiche”. Delinea una metodologia semplificata che abbraccia il progetto di mitigazione del rischio nella sua interezza, dalle fasi di analisi a quelle di progettazione e implementazione degli interventi, facendo sì che non si perda mai la visione sistemica e strutturale. Allo stesso tempo rappresenta una buona pratica in quanto propone un procedimento semplificato e standardizzato, pensato per essere utilizzato su larga scala ma che riconosce e tiene in considerazione le specificità di ogni singolo luogo, poiché si basa su un’analisi storico-territoriale attenta e consapevole. Il metodo proposto è infatti in grado di riconoscere e valorizzare le unicità del patrimonio territoriale, storico e paesaggistico dei contesti in cui si applica, consentendo la realizzazione di progetti efficaci e coerentemente inseriti nei contesti territoriali di appartenenza (Cerasoli *et al.*, 2020).

Il presente protocollo è stato ideato per essere parte di una procedura promossa dalla Regione per il finanziamento di progetti integrati di mitigazione dei rischi naturali ed ambientali, indirizzata alle amministrazioni comunali dei Comuni delle Aree Interne del Lazio. Questo specifico ambito di applicazione non è però da intendersi in maniera esclusiva, in quanto le Aree Interne sono caratterizzate da dinamiche simili a livello nazionale (Strategia Nazionale Aree Interne, 2014) e tale strumento di lavoro è facilmente adattabile ad altri contesti territoriali.

La Regione e le amministrazioni comunali sono gli interlocutori primari del protocollo. Alla prima, viene suggerito un iter procedurale finalizzato al finanziamento di progetti di mitigazione del rischio, mentre alle seconde viene fornita una metodologia di analisi e conoscenza territoriale che consenta loro di programmare interventi di mitigazione sostenibili, coerenti con il contesto e ben integrati con gli altri obiettivi della pianificazione. Il protocollo è destinato alla descrizione di questo processo, vengono infatti spiegate le fasi della procedura di finanziamento regionale, specificando compiti e competenze degli enti coinvolti, nonché tempistiche e obiettivi da raggiungere.

La soluzione proposta vuole rappresentare un tentativo di superamento delle tante criticità legate all’approccio alla mitigazione del rischio a livello italiano: all’assenza di quadri conoscitivi completi e interdisciplinari degli assetti territoriali risponde con la definizione di una metodologia di valutazione del rischio multi-hazard; in risposta alla difficoltà di definizione di interventi di mitigazione del rischio strutturali e sistemici offre indicazioni utili per la definizione delle priorità di intervento sull’urbano e sul territorio; infine, al disordine nella programmazione ed attuazione di programmi di finanziamento efficaci, risponde con la definizione di un iter procedurale multi-attoriale.

In coda al presente contributo vi è poi una riflessione sulla valutazione dei progetti integrati di mitigazione del rischio. Sebbene nell’ambito della ricerca presentata non vi sia stata la possibilità di approfondire in maniera adeguata tale discorso, è riconosciuta l’importanza di questo aspetto ai fini della completezza della metodologia

³ Dal Vocabolario Treccani della Lingua Italiana.

proposta e pertanto la definizione di criteri di valutazione dei progetti rientra tra i possibili sviluppi futuri del lavoro.

Fine ultimo del protocollo è convertire le attività di prevenzione e mitigazione del rischio in attività ordinarie e non occasionali, consapevoli che questo tipo di attività possa essere in grado di innescare anche l'attivazione virtuosa di economie locali ((Cerasoli, Eusebio, Spadafora, 2020).

1.3. Le fasi del Protocollo

Come evidenziato nel paragrafo precedente, il protocollo deve essere pensato come uno strumento di supporto utile e agile per gli attori che ai vari livelli si occupano di governo del territorio, e quindi di mitigazione del rischio.

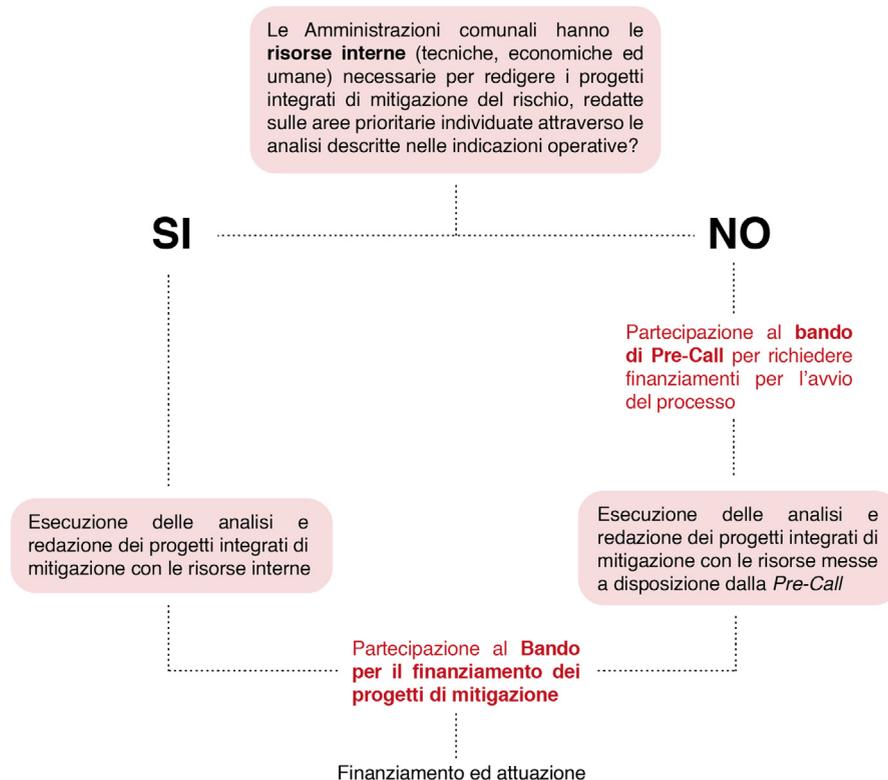
Le motivazioni legate all'utilità di tale strumento risiedono nel suo approccio sistemico. Il protocollo infatti organizza il processo di redazione di piani, programmi e progetti di mitigazione del rischio in tutte le sue fasi, aiutando le amministrazioni comunali dai momenti iniziali di formazione della conoscenza territoriale di base, fino alla conclusione dei lavori. Il procedimento è organizzato secondo un cronoprogramma definito, dove per ogni fase sono indicate le tempistiche, gli enti e gli attori coinvolti e le loro competenze. Questa organizzazione consente inoltre la gestione efficiente dei finanziamenti, assicurando che gli investimenti portati avanti per la sicurezza territoriale ricadano all'interno di un progetto più ampio, che vede la mitigazione del rischio come un insieme di interventi strutturali e non strutturali inserita in un contesto definito, e non come un insieme di interventi puntuali slegati tra loro.

Le azioni promosse dal protocollo sono pensate all'interno di una procedura di finanziamento dei progetti, il cui obiettivo è in primo luogo rendere tutte le amministrazioni comunali in grado di avviare le analisi conoscitive propedeutiche al progetto e, successivamente, finanziare i progetti di messa in sicurezza. In questo modo, il protocollo diventa un sistema che fornisce non solo gli strumenti logistici ma anche quelli finanziari. Tale procedura è pensata come un bando di concorso articolato in due fasi: una fase preliminare, definita *pre-call*, finalizzata all'avvio delle indagini conoscitive di base necessarie per la successiva redazione dei progetti e una fase principale costituita dal bando per il finanziamento dei progetti di mitigazione.

Lo scenario ipotizzabile per descrivere la situazione dei Comuni che si apprestano ad avviare la redazione dei progetti di mitigazione è duplice (Fig. 2).

Fig. 2

Schema degli scenari ipotizzabili per le amministrazioni comunali.
Elaborazione degli autori.



Nel primo caso, l'amministrazione comunale non ha a disposizione risorse economiche ed umane sufficienti per avviare le analisi necessarie per la definizione del quadro conoscitivo di base e per le analisi di dettaglio sulle aree di attenzione, indispensabili per la successiva redazione dei progetti di mitigazione. In questo caso, tale amministrazione può fare richiesta di una prima erogazione di fondi, attraverso la partecipazione al bando di *Pre-call* lanciato dalla Regione.

La seconda possibilità riguarda invece la situazione in cui le amministrazioni comunali hanno a disposizione potenziali risorse per proporre un progetto integrato di mitigazione del rischio, redatto secondo le indicazioni operative e sulla base delle analisi descritte dalle stesse, e possono quindi procedere direttamente alla partecipazione al bando per il finanziamento dei progetti.

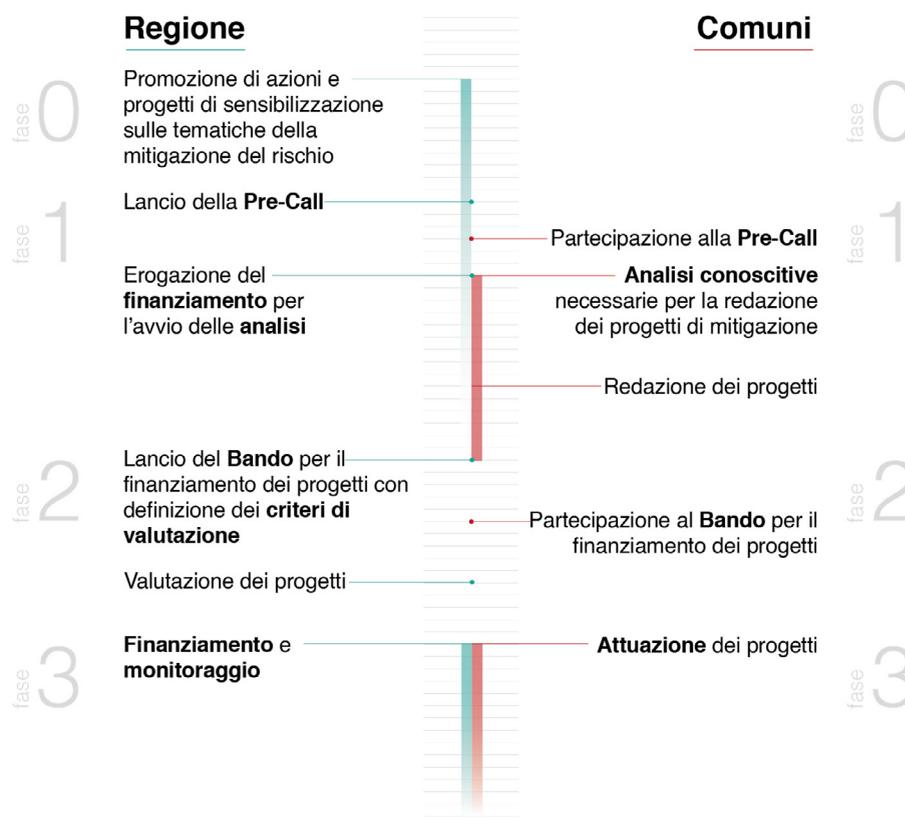
Articolazione, specificità e obiettivi dei due bandi saranno illustrati nella *Scheda 1. La Pre-Call* ed il bando per il finanziamento dei progetti di mitigazione.

Il compito della redazione dei bandi e della valutazione dei progetti è affidato alla Regione, che si occuperà inoltre del monitoraggio del loro stato di avanzamento. La valutazione delle proposte è strumentale alla redazione della graduatoria per le priorità di accesso ai fondi, benché lo scopo finale sia il finanziamento di tutti i progetti che rispettano i requisiti minimi indicati dal bando, così che la messa in sicurezza del territorio sia assicurata in maniera capillare e generalizzata. Sarà compito della Regione definire i criteri specifici per la valutazione dei progetti, che dovranno essere redatti tenendo in considerazione una serie di elementi: la presenza di piani programmatici di mitigazione del rischio organici e sostenibili, che ben si integrino con gli altri strumenti di pianificazione; l'aggiornamento degli strumenti di pianificazione urbanistica vigenti; l'efficacia complessiva degli interventi in termini di riduzione del rischio sul centro urbano; la presenza di progetti ed azioni di *community engagement*.

Il finanziamento sarà erogato per stati successivi di avanzamento, se ne deduce quindi l'importanza ricoperta dall'attività di monitoraggio, di cui è incaricata la Regione. Il monitoraggio è ottenuto attraverso il controllo dell'attuazione delle misure previste dal progetto integrato di mitigazione del rischio. La natura delle sue attività varierà a seconda delle tipologie di intervento: per interventi di tipo strutturale ad esempio, potrebbe riguardare la verifica dell'avanzamento dei lavori e la loro conformità al progetto approvato; per interventi di tipo non strutturale invece, riguardanti ad esempio variazioni del piano urbanistico o a livello normativo, il monitoraggio prevederà attività di carattere interpretativo, volte a valutare l'efficacia in termini di riduzione del rischio dell'azione proposta (Musco *et al.*, 2016, p. 36).

Il monitoraggio continuo e l'organizzazione in fasi con cui è pensato il protocollo ricopre poi un'importanza di tipo strategico in un'ottica di programmazione a medio e lungo termine degli interventi di mitigazione del rischio. Come evidenziato da Balducci (2019) in un interessante contributo riguardante il tema della prevenzione del rischio in Italia, c'è una *"tendenza entropica sui temi del rischio che porta sistematicamente alla impossibilità di costruire programmi a lungo termine, capaci di affrontare le grandi questioni della prevenzione"* ed a creare piani di interventi di più ampio respiro, che possano essere attuati in fasi e che assicurino continuità al di là dei mutamenti a livello di amministrazione. I tempi di preparazione, progettazione e avvio dei progetti infatti non sempre sono compatibili con i tempi della politica, tanto più nelle piccole amministrazioni dove un piano programmatico di interventi potrebbe consentire una semplificazione importante nel momento del passaggio delle consegne (Balducci, 2019). A tal fine, nell'ambito della ricerca è stato sviluppato il cronoprogramma (Fig. 3) del procedimento (*Scheda 2. Il Cronoprogramma*), così che Regione e amministrazioni comunali siano guidate passo passo nell'attuazione del programma.

Fig. 3
Il Cronoprogramma e le fasi del Protocollo.
Elaborazione degli autori.



SCHEDA 1. La Pre-Call ed il Bando per il finanziamento dei progetti di mitigazione

Pre-Call

Descrizione

Domanda iniziale di finanziamento che è possibile richiedere nel caso in cui il comune non abbia a disposizione fondi sufficienti per l'avvio delle analisi conoscitive necessarie per la redazione di progetti integrati di mitigazione del rischio.

Il finanziamento è da intendersi destinato non solo alle risorse tecniche (es. acquisizione dati, affitto di attrezzatura specifica) ma anche alle risorse umane, come ad esempio l'ingaggio di professionisti che si occupino delle analisi.

Obiettivo

- Definizione del quadro conoscitivo generale delle condizioni di rischio a cui sono soggetti i centri urbani del territorio comunale, sulla base della metodologia di valutazione del rischio multi-hazard;
- Impostazione Sistema Informativo Territoriale su base GIS;
- Definizione della SUM Funzionale ed Identitaria;
- Definizione delle Aree di Attenzione;
- Individuazione delle priorità di intervento.

Nella Parte III di questo volume, relativa alle *Indicazioni operative*, verrà spiegata la metodologia di svolgimento delle analisi, le modalità di impostazione del sistema informativo territoriale ed i criteri di definizione delle diverse aree.

Soggetti beneficiari

Amministrazioni comunali che sono prive di risorse interne per avviare la procedura di definizione del quadro conoscitivo delle condizioni dei rischi naturali ed ambientali del proprio territorio.

Condizione di partecipazione

Le amministrazioni comunali che richiedono i finanziamenti per l'avvio delle analisi conoscitive preliminari si impegnano, con un atto d'obbligo, a condurre le analisi di approfondimento sulle aree di attenzione, a portare a termine il progetto integrato di mitigazione e a partecipare al Bando per il finanziamento dei progetti di mitigazione.

Bando per il finanziamento dei progetti di mitigazione

Descrizione

Bando per l'assegnazione di finanziamenti per la realizzazione di progetti integrati di mitigazione dei rischi ambientali per i comuni delle Aree Interne del Lazio. I Comuni interessati sono chiamati a presentare le loro proposte, redatte sulle aree prioritarie individuate attraverso le analisi descritte nel capitolo 5 e secondo i principi esposti nel capitolo 6. La valutazione sarà in mano alla Regione, che dovrà definirne i criteri tenendo in considerazione i seguenti elementi: la presenza di piani programmatici di mitigazione del rischio organici e sostenibili, che ben si integrino con gli altri strumenti di pianificazione; l'aggiornamento degli strumenti di pianificazione urbanistica vigenti; l'efficacia complessiva degli interventi in termini di riduzione del rischio sul centro urbano; la presenza di progetti ed azioni di community engagement. Il finanziamento avverrà sulla base dei fondi a disposizione e della posizione in graduatoria. L'accesso al finanziamento è libero e verrà erogato per stati di avanzamento a seconda delle risorse disponibili, dando priorità agli interventi più urgenti. L'obiettivo è il finanziamento di tutti i progetti presentati che rispettino i requisiti minimi descritti dal bando, così che la messa in sicurezza del territorio sia completa e generalizzata.

Obiettivo

- Finanziamento dei progetti integrati di mitigazione del rischio, redatti secondo i principi esposti nel capitolo 6. Tali progetti devono essere intesi non come singoli interventi strutturali di riduzione del danno sul manufatto, ma piuttosto come parti di un piano programmatico che contribuisca alla mitigazione di tutti i rischi valutati nel sistema urbano.

Soggetti beneficiari

- Tutti i comuni delle Aree Interne del Lazio che vogliono mettere in sicurezza il loro territorio e il loro patrimonio costruito;
- I comuni che hanno partecipato e ottenuto i finanziamenti per la fase di Pre-Call, e si sono quindi impegnati alla partecipazione alle fasi successive della procedura.

Condizione di partecipazione

Ai fini della partecipazione al Bando Competitivo, le amministrazioni comunali devono avere a disposizione tutti gli elaborati finali richiesti nella fase di Pre-Call. In particolare questi comprendono l'implementazione del Sistema Informativo Territoriale su base GIS e la definizione delle priorità di intervento secondo la metodologia spiegata nelle Indicazioni operative.

SCHEDA 2. Il Cronoprogramma

Fase 0

Durata: azione continuativa

REGIONE

- Promozione di azioni e progetti di sensibilizzazione sulle tematiche della mitigazione del rischio.

Fase 1

Durata: 2 anni

REGIONE

- Lancio della Pre-Call;
- Erogazione del finanziamento destinato ai Comuni che ne fanno richiesta.

COMUNE

- Avvio delle analisi conoscitive preliminari finalizzate alla definizione delle priorità di intervento, secondo le modalità descritte nelle Indicazioni operative.

Fase 2

Durata: 1 anno

REGIONE

- Lancio del Bando;
- Definizione dei criteri per la valutazione ed il monitoraggio dei progetti integrati di mitigazione del rischio.

COMUNE

- Redazione dei progetti integrati di mitigazione del rischio e partecipazione al Bando.

Fase 3

REGIONE

- Valutazione dei progetti e redazione della graduatoria. La graduatoria è necessaria per definire le priorità di accesso ai fondi, ma il fine ultimo è il finanziamento totale di tutti i progetti presentati, al fine di mettere in sicurezza il territorio nella sua interezza.

Fase 4

REGIONE

- Finanziamento (dilazionato per annualità/fasi/raggiungimento obiettivi);
- Monitoraggio.

COMUNE

- Attuazione progetti.

1.4 Attori ed enti coinvolti

Come è stato più volte ribadito nel presente testo, il processo di mitigazione del rischio naturale e ambientale rientra nella sfera generale dei processi di governo del territorio e, in quanto tale, è un processo fortemente multi-attoriale che coinvolge tanto gli attori appartenenti alla sfera pubblica quanto quelli della sfera privata come, ad esempio, i possibili portatori di interesse o le parti direttamente coinvolte dagli interventi.

In questa sede è stata presa la decisione di concentrarsi sui ruoli e sulle competenze degli attori pubblici coinvolti nel processo, la Regione e le amministrazioni comunali, pur essendo consapevoli del ruolo importante rivestito dagli attori privati, in particolare per ciò che riguarda la fase di attuazione degli interventi sul patrimonio

privato. Saranno infatti le direttive emanate dalle amministrazioni comunali a guidare l'attuazione dei progetti di mitigazione su quest'ultimo.

Nelle righe che seguono verranno introdotti i compiti degli enti territoriali interessati dal procedimento esposto nel protocollo: la Regione, in quanto ente promotore del processo e il comune, in quanto ente utilizzatore.

Ente promotore: la Regione

La Regione si configura come ente promotore del processo di mitigazione dei rischi ambientali nei comuni delle Aree Interne laziali. Tra i suoi compiti rientrano tutto l'insieme delle azioni che sono da un lato mirate alla gestione tecnico-amministrativa del processo, mentre dall'altro alla promozione di azioni satellite che, pur non rientrando tecnicamente tra le azioni di mitigazione del rischio, concorrono alla riuscita di progetti efficaci, consapevoli e sostenibili.

Per quanto riguarda il primo gruppo di azioni, la Regione ha inizialmente il compito della redazione e lancio dei bandi per il finanziamento della Pre-Call e dei progetti integrati di mitigazione del rischio, con le tempistiche che sono state indicate dal cronoprogramma presentato nei paragrafi precedenti. Successivamente a questa prima fase, l'ente si dovrà occupare della valutazione dei progetti presentati, della stesura della graduatoria per l'accesso ai fondi e dell'erogazione di questi. Infine, avrà il compito di monitorare lo stato di avanzamento dei progetti e l'effettiva attuazione delle azioni e degli interventi finanziati.

Facendo riferimento invece al secondo gruppo di operazioni che indirettamente concorrono all'attuazione di progetti di mitigazione dei rischi ambientali efficaci, consapevoli e sostenibili, i compiti della Regione si inquadrano principalmente all'interno di due sfere d'azione. In primo luogo, la Regione è chiamata a promuovere la formazione di consorzi o unioni di comuni, finalizzati alla gestione congiunta delle attività di mitigazione. Tale operazione favorisce in particolar modo i comuni minori, in quanto consente omogeneità nella gestione del rischio e nella programmazione degli interventi a livello inter-comunale, incoraggiando la creazione di programmi di mitigazione di più ampia portata. A questo proposito si cita la metodologia di creazione dei Contesti Territoriali⁴, applicata in ambito di Protezione Civile.

Infine, è affidato alla Regione il compito della promozione di progetti di comunicazione e sensibilizzazione sulle tematiche riguardanti la sicurezza del territorio, come ad esempio il progetto *Io non rischio*⁵ promosso dal Dipartimento di Protezione Civile, Ingv-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Anpas-Associazione Nazionale delle Pubbliche Assistenze, ReLUIS-Consortio interuniversitario dei laboratori di Ingegneria sismica e CIMA Research Foundation o il progetto *Sicuro+6* il sistema informativo di comunicazione del rischio sismico.

Ente Beneficiario: le amministrazioni comunali

Le amministrazioni comunali dei comuni delle Aree Interne del Lazio si configurano come possibili enti beneficiari del procedimento messo in campo dal protocollo, in quanto sono le istituzioni per le quali è pensato il processo. I compiti e le competenze di questi ultimi sono molteplici e, come nel caso della Regione, riguardano sia azioni tecnico-amministrative che azioni satellite.

Il compito principale a cui sono chiamati ad assolvere riguarda l'avvio delle analisi conoscitive preliminari, le valutazioni dei rischi nelle aree prioritarie e la redazione dei progetti integrati di mitigazione del rischio, seguendo le modalità indicate dalle *Indicazioni operative* e partecipando – se necessario – alla pre-call ed al bando per il finanziamento.

Un'azione fondamentale riguarda la verifica della capacità operativa e gestionale dei propri uffici tecnici, in modo da rendersi conto dell'eventuale necessità di subappaltare parte del processo di analisi e progettazione ad un professionista o ente terzo. Sulla base dell'esperienza maturata negli anni di lavoro e collaborazione con le amministrazioni comunali, in particolar modo per ciò che riguarda le amministrazioni minori, tra le principali problematiche riscontrate vi è infatti il sottodimensionamento dell'organico degli uffici tecnici.

⁴ Definizione di Contesto Territoriale: “I Contesti Territoriali possono essere definiti come un insieme di Comuni limitrofi in cui le attività di riduzione del rischio ai fini di protezione civile, in particolare la pianificazione e conseguente gestione dell'emergenza, vengono esercitate in modo unitario. In questo modo viene incentivata la cooperazione tra aree territoriali limitrofe e favorito il miglioramento delle capacità di governance multilivello, avviando il percorso stabilito dalla Legge n. 135 del 2012 – “Disposizioni urgenti per la revisione della spesa pubblica con invarianza dei servizi ai cittadini” – che prevede, per le realtà comunali di piccola dimensione, l'esercizio in forma associata delle funzioni fondamentali dei Comuni, tra cui quella di protezione civile.”

Fonte: http://governancerischio.protezionecivile.gov.it/comunicazione/dossier/dettaglio/-/asset_publisher/default/content/dossier-3 (Consultato in data 09.07.2022).

⁵ <https://iononrischio.protezionecivile.it/>

⁶ <https://www.sicuropiu.it/index.html>

Al fine di verificare la capacità operativa del proprio ufficio tecnico, ogni Amministrazione Comunale interessata ad avviare un progetto di mitigazione del rischio dovrà effettuare una analisi dello stato di fatto del suo organico, sulla base delle seguenti domande, che seguono le “Linee guida relative alla valutazione della capacità di gestione dei rischi”⁷ dell’Unione Europea.

1. *Vi è un numero sufficiente di personale tecnico che possa occuparsi di seguire il programma di mitigazione del rischio indicato dal protocollo?*
2. *I ruoli del personale tecnico sono chiaramente definiti?*
3. *Il personale presente è formato efficacemente per adempiere al compito? È necessaria l’attivazione di corsi di formazione o il subappalto ad esperti esterni?*
4. *Il comune ha a disposizione le attrezzature e gli strumenti necessari per lo sviluppo delle azioni di mitigazione del rischio descritte dal protocollo?*

L’approccio presentato per la valutazione della capacità operativa degli uffici tecnici non ha pretese di esautività e dovrà necessariamente essere adattato alle esigenze puntuali delle diverse amministrazioni. La metodologia proposta, però, aiuta nella definizione di una strategia che tenga conto della quantità e della qualifica del personale ingaggiato nel processo di definizione dei progetti di mitigazione.

Come nel caso della Regione, in aggiunta a quanto esposto, le amministrazioni comunali si devono poi occupare di una serie di azioni satellite che riguardano la promozione della cultura della prevenzione del rischio e della conoscenza territoriale, così da rendere i propri cittadini consapevoli dei rischi e delle risorse del territorio che abitano. Per un approfondimento in tal senso si rimanda al paragrafo 6.3 *Risk management: dalla valutazione alla comunicazione. Azioni di mitigazione attraverso il coinvolgimento delle comunità locali.*

Infine, tra le competenze delle amministrazioni comunali vi è l’aggiornamento degli strumenti di pianificazione urbanistico-territoriale e di Protezione Civile. Tale compito rientra di norma nelle normali pratiche periodiche che è portato ad espletare l’ufficio tecnico, è però bene ribadirlo in quanto l’analisi approfondita preliminare così come la definizione del progetto integrato di mitigazione, porteranno inevitabilmente all’aggiornamento dei supporti conoscitivi e al riassetto territoriale del comune, da cui deriverà quindi la necessità di aggiornamento degli strumenti pianificatori vigenti.

1.5. Conclusioni: verso programmi ordinari di mitigazione del rischio

L’approccio alla mitigazione del rischio naturale si rispecchia oggi totalmente in quello alla mitigazione ai cambiamenti climatici e pertanto la messa in sicurezza del territorio viene a configurarsi come una azione indispensabile, che da straordinaria deve finalmente diventare ordinaria.

In un’epoca di sempre più frequenti fenomeni estremi legati al cambiamento climatico, il processo di de-fragilizzazione dei territori rappresenta una delle azioni chiave per il riequilibrio del territorio e uno sviluppo realmente sostenibile, incentrato sul riuso e “mantenimento evolutivo” (Cerasoli, 2020) del patrimonio minore esistente e sul rilancio delle economie diffuse.

Non è possibile infatti garantire il riequilibrio territoriale e la messa in sicurezza del patrimonio senza un approccio olistico alla pianificazione urbanistica, che tenga in considerazione il processo di governo del territorio nella sua interezza, dalle fasi iniziali di analisi e conoscenza alle fasi finali di attuazione degli interventi di mitigazione. È proprio questo l’approccio con cui è stato sviluppato il Protocollo operativo concepito nell’ambito del progetto di ricerca *OPERA*, che può rappresentare una possibile soluzione. Esso delinea, infatti, una metodologia semplificata che abbraccia il progetto di mitigazione del rischio nella sua interezza, dalle fasi di analisi a quelle di progettazione e implementazione degli interventi, facendo sì che non si perda mai la visione sistemica e strutturale. Allo stesso tempo, propone un procedimento semplificato e standardizzato, pensato per essere utilizzato su larga scala ma che riconosce e tiene in considerazione le specificità di ogni singolo luogo, poiché si basa su un’analisi storico-territoriale attenta e consapevole, in grado di riconoscere e valorizzare le unicità del patrimonio territoriale, storico e paesaggistico dei contesti in cui si applica, consentendo la realizzazione di progetti efficaci e coerentemente inseriti nei contesti territoriali di appartenenza (Cerasoli *et al.*, 2020). È tuttavia risultato chiaro come il processo di mitigazione del rischio e la redazione di piani, progetti e programmi di intervento sia un lavoro estremamente complesso, che investe ruoli, azioni, competenze e professionalità multiple.

Con il lavoro di ricerca preliminare e con le successive fasi di sistematizzazione dell’informazione raccolta e

⁷ Gazzetta Ufficiale Unione Europea (2015/C261/03), per il documento si veda la pagina al link: <https://drive.google.com/file/d/1K1CGbksr6280dfbLJHIAJWR4drcl-mI0/view?usp=sharing>

redazione del Protocollo si è cercato pertanto di fornire gli strumenti per rispondere in maniera concreta ad un gap strutturale del sistema di pianificazione urbanistica e territoriale italiano riguardo al tema della mitigazione del rischio.

Il Protocollo non deve però essere considerato come uno strumento finito, ma piuttosto come una prima sistematizzazione di un processo dinamico e aperto, con molteplici possibilità di sviluppo ed approfondimento.

Tra le più interessanti occasioni di possibile approfondimento del lavoro vi sono sicuramente la definizione dei criteri per la valutazione dei piani, progetti e programmi di mitigazione del rischio presentati in coerenza con quanto previsto dal Protocollo ed il monitoraggio del relativo stato di avanzamento. Valutazione e monitoraggio che dovranno essere realizzati dalla Regione, che dovrà quindi operare una valutazione complessa che restituisca i pesi delle singole criticità e che sia in grado di mettere a confronto progetti distinti.

A tale scopo, una serie di criteri da tenere in considerazione comprendono:

- la presenza di un piano/programma di interventi ed investimenti, con scadenze temporali ed obiettivi definiti;
- l'aggiornamento dei piani urbanistici e di Protezione Civile, sulla base delle eventuali nuove conoscenze acquisite a monte del processo di analisi territoriale e progettazione degli interventi di mitigazione;
- l'efficacia della proposta presentata in termini di riduzione complessiva dei livelli di rischio sull'area urbana, tenendo ovviamente in considerazione la situazione di partenza e le previsioni per la situazione post-intervento;
- la presenza di progetti di comunicazione del rischio alla popolazione e *community engagement*, che consentano la partecipazione della comunità nelle varie fasi di redazione del programma, dalle fasi iniziali di analisi e conoscenza territoriale a quelle di redazione dei progetti.

Come la valutazione, anche il monitoraggio farà uso di criteri specifici che terranno sicuramente in considerazione quanto esposto sopra, e in più saranno adattati ai diversi interventi e ai differenti contesti.

In conclusione, attraverso lo sviluppo e l'approfondimento delle tematiche proposte dal Protocollo è possibile auspicare un futuro in cui le pratiche di mitigazione del rischio, inteso come l'insieme di tutti i possibili rischi socio-naturali (Wilches-Chaux, 2007) siano naturalmente integrate e considerate negli ordinari processi di governo del territorio.

PARTE II

**TERRITORIO E RISCHI AMBIENTALI:
METODOLOGIE DI ANALISI E VALUTAZIONE**

2 Conoscere il patrimonio costruito

2.1. Metodologie di analisi sul patrimonio

Michele Zampilli

I disastrosi eventi sismici che hanno colpito il nostro paese negli ultimi cinquant'anni hanno messo in evidenza che i terremoti fanno maggior danno ad un patrimonio storico già debilitato da una scarsa manutenzione o che sia stato molto trasformato da interventi incongrui, in particolare recenti, che hanno stravolto le configurazioni strutturali originarie. Nello stesso tempo, si può constatare che, seppur in presenza di distruzioni provocate dagli eventi sismici che si sono susseguiti nei secoli, ci sono ancora moltissimi centri storici che conservano un patrimonio di antica o antichissima formazione il quale, con tutta evidenza, ha superato incolume o con danni riparabili, gli attacchi dei terremoti. Ciò significa che l'edilizia storica, se ben costruita in siti geologicamente stabili, ben mantenuta e, soprattutto, non soggetta a trasformazioni incoerenti con i suoi caratteri costruttivi originari, può far fronte anche ai più severi eventi sismici. Questo grazie anche ad una tradizione costruttiva locale, espressione di un sapere antico che si è lentamente perfezionato con un'attenzione marcata al problema della prevenzione sismica, la cosiddetta "cultura sismica locale", che ha approntato accorgimenti tecnici i quali hanno consentito a molti centri urbani, colpiti e danneggiati dai terremoti, di sopravvivere e di essere ricostruiti nelle parti guastate mantenendo i lineamenti originari, tanto alla scala dei tessuti quanto a quella degli edifici.

Il nostro compito come restauratori o, meglio, di architetti del patrimonio, è quello di offrire un contributo per individuare una metodologia finalizzata al recupero e la messa in sicurezza dei centri storici individuando i caratteri fondativi da conservare. A questo scopo, sono stati formulati criteri di conoscenza del costruito storico in grado di mettere le comunità nelle condizioni di comprendere e riappropriarsi dei valori residenti nei loro ambienti di vita e, allo stesso tempo, di mettere a disposizione delle autorità locali, dei professionisti, delle imprese e degli artigiani attivi nel recupero, uno strumento di lavoro indispensabile per migliorare la qualità dei progetti e dei risultati dei cantieri di restauro, di riabilitazione e di messa in sicurezza del patrimonio architettonico, tanto quello danneggiato dai recenti eventi sismici, tanto quello che potrebbe essere colpito in futuro (Zampilli 2017). Tali criteri sono formulati nei Manuali del Recupero (Giovanetti 1992, 1997) e nei Codici di Pratica (Giuffrè 1993) che, fin dall'inizio degli anni Ottanta del Novecento, si sono preoccupati di riconoscere i caratteri peculiari del costruito storico di diversi centri storici italiani (Roma, Palermo, Città di Castello, Ortigia, Matera solo per citare i più noti e riferibili alla scuola di Architettura di Roma Tre), al fine di prevedere interventi di conservazione e di messa in sicurezza compatibili e filologicamente in continuità con tali caratteri. Nell'ambito della valutazione dei rischi naturali e ambientali, pertanto, occorre procedere secondo una metodologia di lavoro finalizzata alla individuazione del livello di vulnerabilità rispetto alla conformazione territoriale, alla conformazione dell'aggregato urbano, ai processi evolutivi dei tessuti urbani, alle caratteristiche dei tipi edilizi e delle tecniche costruttive.

La lettura di un aggregato, dei suoi punti di forza e di debolezza, e dei suoi caratteri identitari da conservare, dovrà essere fatta sulla base della documentazione storica disponibile, in particolare delle mappe catastali antiche, di rappresentazioni e fotografie d'epoca e soprattutto della lettura dei processi di formazione e trasformazione dei tessuti urbani, sperimentata per oltre mezzo secolo dalla scuola muratoriana ed in particolare da Gianfranco Caniggia (Caniggia 1963, 1976, Caniggia-Maffei, 1979). Questo metodo di lettura, basandosi sul riconoscimento della "struttura resistente" (Muratori, 1950) è volta a mettere in evidenza i caratteri peculiari di un luogo e le sue modificazioni coerenti con il processo, e quindi da conservare e ripristinare, in opposizione alle trasformazioni incoerenti o dannose da eliminare o non riproporre.

La metodologia di lettura, già applicata recentemente in un'area del cratere sismico del centro Italia (Zampilli, Brunori 2021), viene applicata a 5 differenti scale e all'interazione tra di esse:

- **Scala territoriale** La lettura della cartografia storica e attuale, lo studio e la rappresentazione dei caratteri naturali e antropici, della geomorfologia e della sismicità, dei tracciati e delle emergenze territoriali, consentono di riconoscere i processi di strutturazione territoriale e di stabilire la gerarchia dei percorsi, dei nodi e delle relative infrastrutture (ponti, viadotti, gallerie), di localizzare le aree a rischio (frane, fagliazioni superficiali, acclività) per definire il grado di affidabilità della strutture viarie territoriali al fine di individuare soluzioni per migliorarle, anche eventualmente recuperando antichi tracciati o infrastrutture che, per la loro stessa natura, aderiscono con maggior equilibrio e stabilità alla geomorfologia dei luoghi.
- **Scala dell'insediamento urbano** La lettura delle fasi storiche di formazione, a partire dal primo impianto, mette in evidenza le relazioni tra orografia del sito, struttura viaria e aggregati edilizi, disvelando le criticità prodotte e avariate dalla prolungata stratificazione storica. Vicoli e spazi pubblici e privati intasati, sostituzioni inadeguate sotto il profilo edilizio ed urbanistico, hanno ridotto la fruibilità del centro storico, la quantità di spazi aperti e le vie di esodo. Vengono individuati gli edifici strategici e quelli di rilevante valore architettonico e culturale, le vie di esodo e le aree sicure.
- **Scala del tessuto urbano** Lo studio dei processi di formazione e trasformazione, il rilievo costruttivo e architettonico degli edifici più significativi, evidenzia i caratteri peculiari dell'edilizia residenziale selezionando i tipi edilizi più rappresentativi delle diverse epoche. La catalogazione dei tipi edilizi prevalenti consente la costruzione di un abaco che descrive i caratteri tipologici degli edifici appartenenti ad una data epoca e il loro evolversi nel tempo dando forma a costruzioni residenziali sempre più complesse. L'abaco ha una duplice funzione. La prima è quella di evidenziare i momenti-fase dell'evoluzione processuale dell'edilizia di base in grado di ripercorre la storia civile della comunità che li ha prodotti. La seconda è quella di favorire il riconoscimento dei caratteri identitari del costruito storico, caratteri che possono celarsi sotto assetti più recenti, causa di occultamenti o manomissioni. L'uso dell'abaco può aiutare nella lettura e nell'interpretazione di fenomeni poco chiari anche grazie alla comparazione tra elementi della stessa specie. Ritrovare nell'abitato, attraverso l'esame dei materiali, delle tecniche e dei dettagli costruttivi, zone omogenee corrispondenti a periodi storici ben determinati, consente una utilissima generalizzazione.
- **Scala dei singoli edifici** Alla scala dei singoli edifici il rilievo murario, strutturale e critico di edifici selezionati per caratteristiche tipologiche e costruttive esemplari del costruito storico consente: la comprensione, anche attraverso l'uso degli abachi, dei processi di formazione e trasformazione dei tipi edilizi, a partire dai tipi costruttivi originari, che si modificano con modalità ricorrenti (rifusioni più o meno integrate, addossamenti, sopraelevazioni, intasamento dei vicoli ecc.), dando origine a soluzioni di continuità strutturale in cui possono innescarsi meccanismi di collasso sotto l'azione sismica; la valutazione degli interventi di consolidamento e restauro effettuati successivamente ai terremoti storici che in alcuni casi possono risultare inappropriati e compromettere l'unitarietà della scatola muraria.
- **Scala dei dettagli e delle tecniche costruttive** Alla scala delle tecniche costruttive, i rilievi di dettaglio mostrano le qualità del costruito storico, la rispondenza alle regole dell'arte, le possibili debolezze dovute ai materiali, alle modalità di esecuzione o al degrado. Occorre un censimento delle tecniche murarie prevalenti, delle volte in muratura dei piani terra, dei solai lignei originari e di quelli metallici di sostituzione e delle strutture di copertura mentre l'individuazione dei presidi di prevenzione sismica (speroni, archi di sbadacchio, radiciamenti, tiranti ecc.) può aiutare a comprendere la loro efficacia in occasione dei terremoti storici offrendo, in prospettiva, soluzioni e criteri più appropriati per mettere in sicurezza il costruito storico.

L'insieme di queste considerazioni permette una valutazione qualitativa dei punti di forza e di debolezza del costruito storico, valutazione che può essere approfondita tramite analisi strutturali più specifiche¹.

2.2. Il rilievo come strumento di indagine conoscitiva

Marco Canciani

Nell'ambito degli studi di un centro storico finalizzati alla prevenzione e mitigazione dei rischi ambientali, il rilievo costituisce un importante mezzo per sviluppare un'analisi approfondita, classificare le caratteristiche dell'edificato, descrivere i dissesti, dovuti ad un evento ambientale insieme agli elementi di resistenza

¹ Per un approfondimento dei metodi qualitativi e quantitativi per il calcolo del rischio sismico si rimanda al paragrafo 3.3: *Metodologie di valutazione del rischio sismico*, di F. Paolacci, in questo volume.

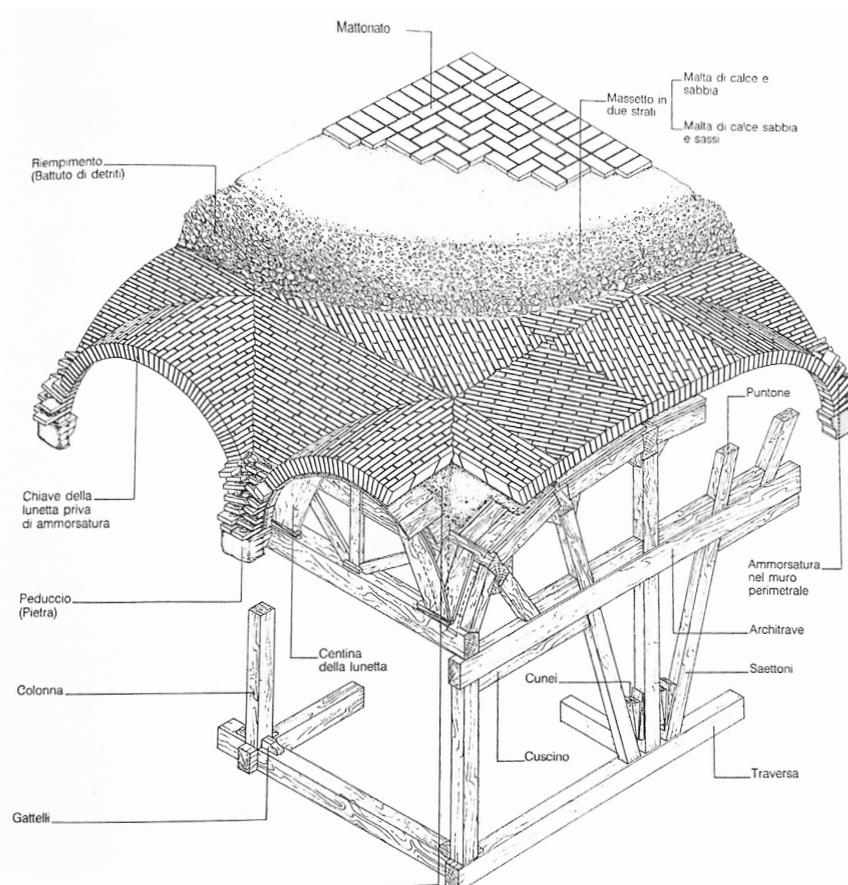
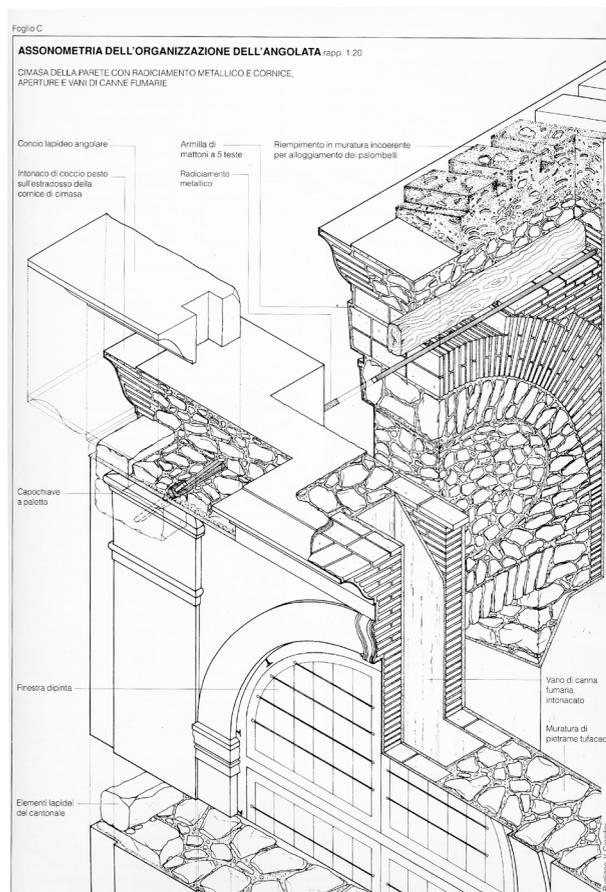
Tabella 1

Le tipologie di dato, inserite nella tabella, fanno riferimento ai dati illustrati nel paragrafo 3.9.

livello di approf.	scala	tipologia di dato	tipologia di rischio
1	tessuto urbano	Posizione nell'aggregato (angolo, esterno, interno, isolato)	sismico, sanitario
1	tessuto urbano	Tipologia Copertura (piano, una falda, due falde, ecc.)	sismico, ecologico
1	tessuto urbano	Numero piani fuori terra	sismico, idrologico/idraulico
1	tessuto urbano	Destinazione d'uso prevalente	sismico, idrologico/idraulico
2	tessuto urbano	Numero di piani complessivo	sismico, idrologico/idraulico
2	edificio	Tipologia delle murature (in genere classi omogenee che considerano: tipo di pietra, tipo di sbazzatura, tipo di apparecchio, tipo di malta)	sismico, ecologico
2	edificio	Struttura verticale (muratura, C.A.)	sismico, ecologico
2	edificio	Strutture orizzontali (volte, solai legno, solai in latero cemento ecc.)	sismico, ecologico
2	edificio	Struttura del tetto	sismico, ecologico
2	edificio	Sopraelevazioni	sismico, idrologico/idraulico

e miglioramento. Questo tipo di rilievo, che ha come riferimento i testi sul rilevamento urbano e architettonico (Docci, Maestri, 2020; Bertocci, Bini, 2012), prende spunto dalle impostazioni seguite dai Manuali del Recupero (Giovanetti, 1997; Marconi, 1997; Cangi, 2012), dai codici di pratica (Giuffrè, 1993), e dalla metodologia analitica proposta nell'ambito degli studi sull'archeologia dell'architettura (Doglioni, 1997; Brogiolo, Cagnana, 2012). Se, da un lato, esso è riferibile alle tradizionali attività svolte dal rilevatore sul costruito, dall'altro abbisogna di analisi più specializzate, secondo un «“approccio multidisciplinare” e con il contributo di competenze diversificate» (Carocci, Tocci, 2010, p.16). In un articolo del 1995 Antonino Giuffrè (Giuffrè, 1995, p.16) affermava come «l'analisi della consistenza strutturale dell'opera (architettonica) prende le mosse dalla conoscenza della sua materia e della sua forma geometrica. Il primo passo, quindi, per un giudizio di stabilità e per un progetto di intervento, va eseguito nell'ambito della disciplina del rilievo. Si tratta tuttavia di una forma di rilievo ancora non molto diffusa, diretta non soltanto alla geometria apparente ma soprattutto alla realtà costruttiva. [...] Le metodologie per eseguire un rilievo siffatto sono diverse da quelle usuali [...] innanzitutto è necessaria una cultura più ampia: il rilevatore deve conoscere le tecniche costruttive in uso all'epoca della costruzione che va ad esaminare, così come abitualmente conosce gli stili dell'architettura che lo guidano nel rilievo di cornici e modanature». Su questa stessa linea, Francesco Giovanetti (Giovanetti, 1992, p.32) ribadisce il fatto che «È necessario altresì conoscere per intervenire, fornendo una valutazione sull'edificio, riconoscendovi le case dentro le case, i segni cioè delle differenti culture abitative e costruttive che si sono avvicinate nella fabbrica». Il rilievo deve costituire perciò uno studio riferito non solo alle scale diverse, del territorio, del tessuto urbano e dell'edificio, ma anche a diversi livelli di approfondimento: uno più generico, eseguito attraverso un'analisi speditiva, i cui risultati contribuiscono alla perimetrazione delle SUM e un secondo, più approfondito e di dettaglio, utile alle analisi del rischio. Il rilievo, in questi termini, non può più essere confinato strettamente al rilievo cosiddetto geometrico, ma si rivolge agli aspetti costruttivi e materici, manutentivi e strutturali del costruito, fornendo diverse tipologie di dato, utili alla valutazione di diversi rischi² (Tabella 1).

² Non sono qui contemplati i dati relativi al GIS, analizzati nel capitolo specifico. La tabella è un estratto del lavoro complessivo di incrocio dei dati utilizzati nei diversi ambiti disciplinari, eseguito al fine di individuare quali dati siano



2.2.1. Analisi qualitativa-quantitativa: lo stato dell'arte

Il rilevamento, così come viene inteso e praticato, propone un'analisi critica di tipo qualitativo ad ampio spettro, successivamente tradotta in una descrizione grafica, che costituisce una base di conoscenza più ampia rispetto a quella strettamente necessaria al presente studio, comunque utile alla programmazione urbanistica, agli interventi di recupero, alla documentazione dei processi storico formativi dei centri storici e dell'edificato, alla redazione di manuali per il recupero, come quelli di Roma o di Città di Castello (Giovanetti, 1997, 1992), o quello più specifico del recupero strutturale e antisismico (Cangi, 2012) (Fig. 1).

D'altro canto, nell'ambito dei processi di studio di centri storici in considerazione di rischi legati ad eventi sismici, la necessità primaria è quella di definire sinteticamente un'analisi quantitativa, che deriva dalla prima, e che stabilisca dei parametri numerici, riferiti, ad esempio, alla vulnerabilità, al danno subito, o al rischio a cui è sottoposta una struttura. Come afferma sempre F. Giovanetti (Cangi, 2012, p.10), il rilievo deve proporre «modi di vedere attraverso gli edifici storici per poterne apprezzare la capacità di resistenza, [...] allo scopo di riconoscere non solo quei difetti dai quali scaturiscono i meccanismi di dissesto, ma anche le qualità che rappresentano i punti di forza di una struttura» (Fig. 2).

Su questa stessa linea, e nell'approccio metodologico illustrato in precedenza, ripreso poi nei *Criteri di descrizione delle tecniche murarie dell'ICCD* (ICCD, 2013, p.3), vengono definite le modalità di analisi del costruito attraverso delle schedature delle tipologie murarie, che devono, da un lato, «descrivere, misurare, comprendere e classificare la qualità muraria di un edificio attraverso informazioni di carattere necessariamente interdisciplinare, fornite secondo un linguaggio e regole condivise» (analisi qualitativa o indice della qualità muraria) (Fig. 3a) e, dall'altro, rientrare nelle classificazioni dettate dalla normativa, in funzione di una valutazione sintetica «del rapporto tra le caratteristiche costruttive del manufatto e i parametri meccanici di resistenza della muratura» (analisi quantitativa o parametrica) (Fig. 3b).

in alto, da sinistra

Fig. 1 Assonometria esplosa dell'organizzazione dell'angolata di Palazzo Chigi (secolo XVI) in Ariccia (Roma) (da: Giovanetti, 1997 p. 78).

Fig. 2 Vista assonometrica dell'impalcato per la costruzione di un ambiente voltato (da: Cangi, 2012, p. 107).

utili a più discipline e siano, pertanto, da considerarsi prioritari nelle fasi di programmazione del loro reperimento.

a fianco, da sinistra

Fig. 3a

Scheda grafica con l'indicazione delle caratteristiche della muratura (da: Cangì, 2012, p. 107).

Fig. 3b

Scheda da compilare con le caratteristiche descrittive della muratura (da: Cangì, 2012, p. 107).

TECNICA MURARIA LATERIZIA		Codice scheda: TM.LAT		Codice tecnica:																																																								
Opera mista, n° n. schede	N. RILIEVO	TIPO TECNICA	N. SCHEDA																																																									
Rilievo	Corpo di fabbrica	Ambiente	Fotografie																																																									
PG	PP	US	Rilievi																																																									
EA	base	Periodo																																																										
Sezione della muratura <input type="checkbox"/> Non visibile <input type="checkbox"/> Un paramento con una faccia vista <input type="checkbox"/> Due paramenti ammortati al nucleo <input type="checkbox"/> Due paramenti non ammortati al nucleo <input type="checkbox"/> Livellamenti																																																												
Materiali TIPO <input type="checkbox"/> Bassali <input type="checkbox"/> Tegole <input type="checkbox"/> Laterizi medievali <input type="checkbox"/> Laterizi moderni <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/> Sesquipedali <input type="checkbox"/> Tegole smarginate <input type="checkbox"/> Vari non id. <input type="checkbox"/> Triangolare <input type="checkbox"/> Bipedrali <input type="checkbox"/> Coppi <input type="checkbox"/> Non visibile																																																												
Descrizione: CARATTERISTICHE DELLA PRODUZIONE: Colore dei laterizi: <input type="checkbox"/> Omogeneo <input type="checkbox"/> Eterogeneo <input type="checkbox"/> Descrizione: Matrice: <input type="checkbox"/> Omogenea <input type="checkbox"/> Eterogenea																																																												
CARATTERISTICHE DEL REEMPREGIO <input type="checkbox"/> Riduzione in lungh./largh. (laterizi spezzati) <input type="checkbox"/> Riduzione dello spessore (risalverazione lungo i bordi) <input type="checkbox"/> Finitura LAVORAZIONE PER LA MESSA IN OPERA <input type="checkbox"/> Mattellina a lana liscia (tracce verticali) <input type="checkbox"/> Segna (tracce orizzontali) <input type="checkbox"/> Arrostratura <input type="checkbox"/> Sabbatura <input type="checkbox"/> Non id.																																																												
DESCRIZIONE: SEGNATURE <input type="checkbox"/> Balli <input type="checkbox"/> Iscrizioni <input type="checkbox"/> Graffiti <input type="checkbox"/> Impronte. Tipo: _____ Riferimenti: _____																																																												
Messa in opera dei paramenti DISPOSIZIONE DEI MATERIALI <input type="checkbox"/> Per piatto <input type="checkbox"/> Per testa <input type="checkbox"/> In verticale <input type="checkbox"/> In orizzontale <input type="checkbox"/> Inclinati																																																												
DESCRIZIONE: DISTRIBUZIONE DEI MATERIALI <input type="checkbox"/> Omogenea <input type="checkbox"/> Eterogenea Concentrazioni per: <input type="checkbox"/> Tipo <input type="checkbox"/> Forma <input type="checkbox"/> Altro																																																												
DESCRIZIONE: FILARI <input type="checkbox"/> Orizzontali <input type="checkbox"/> Ondulati <input type="checkbox"/> Obliqui <input type="checkbox"/> Con sdoppiamenti <input type="checkbox"/> A spina di pesce SFALSAMENTO DEI GIUNTI <input type="checkbox"/> Regolare <input type="checkbox"/> Irregolare <input type="checkbox"/> Prevalente																																																												
LIVELLAMENTI Tipo di materiale: _____ Distanza tra gli allineamenti: _____ Dimensioni dei materiali: _____																																																												
GIUNTI <input type="checkbox"/> Lasciati <input type="checkbox"/> Siliati <input type="checkbox"/> Stuccati Osservazioni: _____																																																												
CATENE ANGOLARI <input type="checkbox"/> uguali ai paramenti <input type="checkbox"/> diverse dai paramenti (compilare le altre voci)																																																												
Tipo di materiale: _____ Forma degli elementi: _____																																																												
Lavorazione degli elementi: _____ Disposizione degli elementi: <input type="checkbox"/> alternati per testa e per fascia <input type="checkbox"/> altro: _____																																																												
Dimensioni degli elementi angolari:																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lunghezza</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altezza</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>17</td> <td>18</td> <td>19</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Lunghezza</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altezza</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Lunghezza											Altezza	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Lunghezza											Altezza										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																		
Lunghezza																																																												
Altezza	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																																																		
Lunghezza																																																												
Altezza																																																												

Nel testo della CIRCOLARE del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" del 2019, veniva ancora una volta ribadita l'importanza del rilievo per un'analisi critica dell'edificio, «finalizzata a comprendere le vicende costruttive, i dissesti, i fenomeni di degrado, i cedimenti subiti dall'edificio e, particolarmente frequenti nelle costruzioni in muratura, le trasformazioni operate dall'uomo che possono aver prodotto cambiamenti nell'assetto statico originario» (C.S.LL.PP, 2019, p.254).

In particolare, «nelle costruzioni di muratura, vista la grande varietà di materiali e tecniche costruttive impiegate, riveste un ruolo di primaria importanza la conoscenza della composizione degli elementi costruttivi e delle caratteristiche dei collegamenti, a partire dalla tipologia e disposizione dei materiali e dalla presenza di discontinuità; in questo ambito, la verifica dell'efficacia degli incatenamenti, siano essi lignei o metallici, merita una particolare attenzione».

In considerazione di questo, le analisi del rilevatore si distinguono in tre tipi di indagine, sulla base del livello di approfondimento e conoscenza:

Indagini limitate: sono generalmente basate su indagini di tipo visivo che, al rilievo geometrico delle superfici esterne degli elementi costruttivi, uniscono saggi che consentano di esaminare, almeno localmente, le caratteristiche della muratura sotto intonaco e nello spessore, caratterizzando così la sezione muraria, il grado di ammortatura pareti ortogonali e le zone di appoggio dei solai, i dispositivi di collegamento e di eliminazione delle spinte.

Indagini estese: i rilievi e le indagini *in situ* indicati al punto precedente, sono accompagnati da saggi più estesi e diffusi così da ottenere tipizzazioni delle caratteristiche dei materiali e costruttive e una aderenza delle indicazioni fedele alla reale varietà della costruzione.

Indagini esaustive: oltre a quanto indicato al punto precedente, «le indagini sono estese in modo sistematico con il ricorso a saggi che consentano al tecnico di formarsi un'opinione chiara sulla morfologia e qualità delle murature, sul rispetto della regola dell'arte nella disposizione dei materiali, sia in superficie che nello spessore murario, sull'efficacia dell'ammorsatura tra le pareti e dei dispositivi di collegamento e di eliminazione delle spinte, oltre che sulle caratteristiche degli appoggi degli elementi orizzontali» (C.S.LL.PP, 2019, p.254). All'interno di quest'ultimo tipo di indagini, ricadono le analisi che riguardano otto diverse tipologie di murature³, alle quali corrispondono altrettanti parametri riferiti al loro comportamento meccanico e ai criteri di resistenza.

³ Le tipologie di murature riportate nella Tabella C8.5.I in C.S.LL.PP, 2019, p.256 -Tipologie delle murature - sono certamente poco rappresentative della varietà di tipologie tradizionali riscontrabili nei vari ambiti regionali o nazionali, soprattutto in riferimento alla datazione storica o allo stato manutentivo.

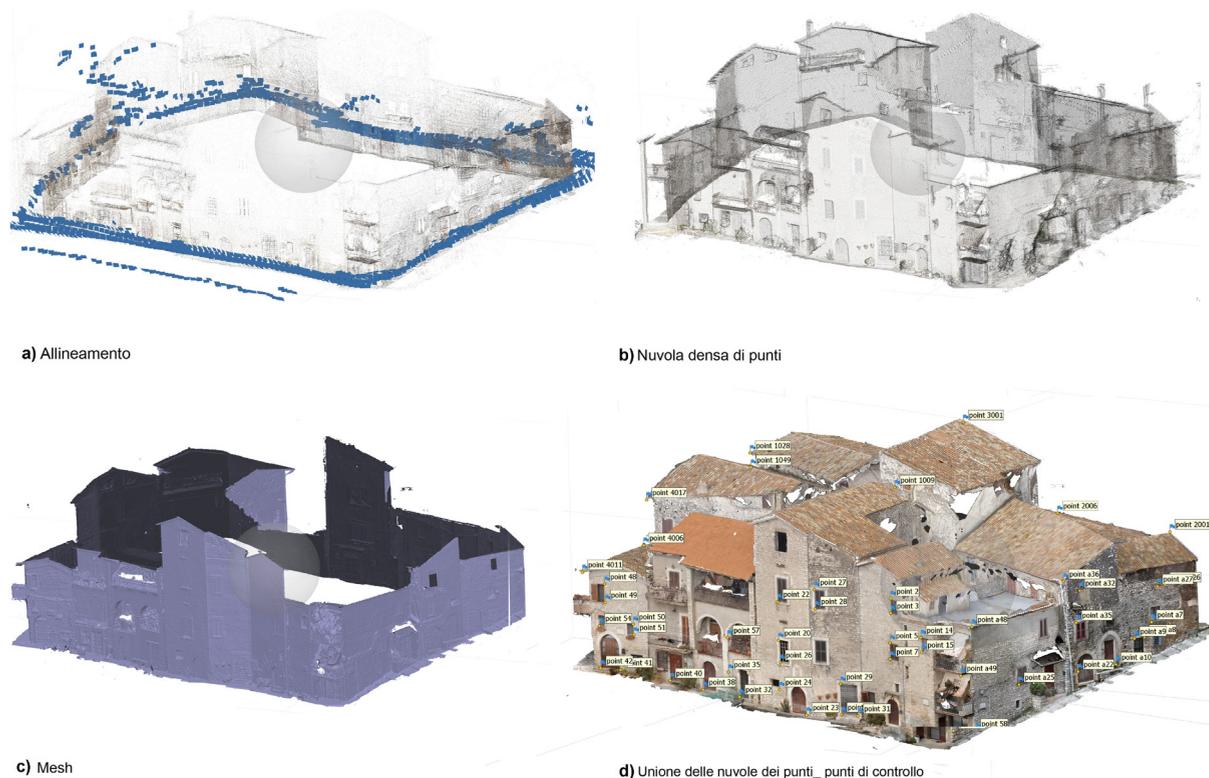


Fig. 4
Fasi per la ricostruzione 3D di un isolato di Sermoneta (LT):
a) acquisizione delle immagini e allineamento;
b) creazione di una nuvola densa;
c) definizione di una mesh triangolata;
d) definizione di una mesh con applicazione della texture.

2.2.2. La metodologia del rilevamento

Al di là del quadro normativo di riferimento, l'attività del rilevatore deve essere principalmente indirizzata all'appropriazione di una serie di dati conoscitivi difficilmente quantificabili e sicuramente non elencati. Il lavoro è quello di acquisire informazioni secondo vari livelli di conoscenza che, se ben strutturati, costituiscono un patrimonio conoscitivo ad ampio spettro, certamente ridondante e fuori dal focus specifico dell'ottenimento di parametri utili alla mitigazione dei diversi rischi ambientali. Tuttavia, tale patrimonio conoscitivo rappresenta anche una base di conoscenza indispensabile nel momento in cui il bene non sia più accessibile o sia necessario elaborare dati in momenti successivi, differiti rispetto alla prima acquisizione diretta, svolta sul posto.

La metodologia, adottata nel presente studio, prevede, secondo una prassi ormai consolidata, una prima fase di acquisizione dei dati, una seconda di elaborazione e descrizione grafica, ed una terza di selezione dei dati, utili alle valutazioni più specifiche.

Nella prima fase, l'uso di strumentazioni e tecniche di rilievo indiretto, quali laser scanner 3D⁴ e fotogrammetria da terra e da APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto)⁵, integrate tra loro e correlate a quelle tradizionali, consente di acquisire dati e metadati diversificati, secondo diversi ambiti: nell'ambito territoriale e urbano, sono acquisiti dati cartografici costituiti da mappe e planimetrie 2D di pubblico dominio e open source, sistemizzati attraverso un GIS e georiferiti secondo un unico sistema di riferimento; in quello del tessuto edilizio e

⁴ Per il rilievo tramite laser scanner, la procedura prevede l'acquisizione delle scansioni, l'allineamento/registrazione di queste tra di loro, la pulizia della nuvola ottenuta, il filtraggio e l'isolamento delle zone di interesse, la georeferenziazione. Si veda M. Sgrenzaroli, G. Vassena (2007).

⁵ Per il rilievo fotogrammetrico con apparecchi fotografici, sia normali che montati su APR, le immagini acquisite vengono ad essere processate attraverso le note procedure di restituzione fotogrammetrica della *SFM* (*Structure From Motion*), che permettono di determinare in fasi successive: la calibrazione della camera; l'allineamento di più immagini, dalla quale si ottiene una nuvola sparsa di punti comuni a più immagini; la definizione di una nuvola densa, derivata dal ricampionamento delle immagini; la generazione di una maglia triangolata (mesh) in 3D, sulla base della nuvola densa; la proiezione di una texture sulla mesh, basata sulle foto; la generazione di una ortofoto. Si vedano i testi di riferimento (Barba, Simongello, 2020; Kraus, 2007; Remondino, El Hakim, 2006).

Fig. 5

Planimetria delle coperture con riportate le quote assolute e le tipologie del manto di copertura.



del singolo edificio, si ottiene, dapprima una nuvola 3D dell'oggetto rilevato, composta da decine di milioni di punti, collocati secondo le coordinate spaziali x, y, z e completi del dato colore, e, in una successiva elaborazione, dati metrici e modelli 3D, anch'essi molto dettagliati (Canciani, D'Angelico, Michelini, 2021, pp.184-187) (Fig. 4).

In una seconda fase, tale mole di dati acquisiti consente di sviluppare vari elaborati grafici, quali proiezioni ortografiche (pianche, prospetti e sezioni) e assonometriche, come la planimetria quotata, del tessuto urbano interessato (Fig. 5), sia del singolo edificio, sia ancora dei dettagli costruttivi più specifici, con un livello di definizione in una scala architettonica di 1:50 e, dove necessario, anche in una scala di dettaglio di 1:5.

Nella terza fase, tale studio contribuisce a fornire una base per il rilievo "critico" e l'analisi e la valutazione di dati utili alla mitigazione dei rischi, attraverso l'integrazione delle fonti documentarie e storiche con i dati e metadati acquisiti e dei modelli 3D, secondo le diverse scale.

Alla scala del territorio (1:500/1:200) e del centro storico analizzato, il rilievo permette la selezione di dati in merito all'andamento del suolo, alle curve di livello e alle quote di riferimento, alla presenza di vegetazione e di parti costruite, all'individuazione di presistenze archeologiche. Attraverso la lettura incrociata delle varie fonti cartografiche storiche e dei dati ottenuti dai rilevamenti, è possibile, inoltre, comprendere e valutare l'entità delle trasformazioni che hanno interessato il territorio (quelle indotte dall'uomo e quelle determinate dal verificarsi di fenomeni naturali).

Alla scala del tessuto edilizio (1:200/1:100), il rilievo permette di evidenziare la collocazione degli edifici rispetto all'aggregato (angolo, esterno, interno, isolato), la continuità/discontinuità dei fronti stradali, le quote altimetriche a terra e sulle coperture, insieme alle loro configurazioni geometriche (rette di gronda e colmo, rette di displuvio o compluvio).

Alla scala dell'edificio (1:100/1:50) infine, il rilievo consente di estrarre, da un lato, i dati relativi alla geometria dell'edificio, alle caratteristiche delle murature e delle coperture, dei materiali e delle finiture, alla presenza di presidi di prevenzione sismica e, dall'altro, le trasformazioni avvenute rispetto alla conformazione originaria (sopraelevazioni o superfetazioni, tracce di strutture o aperture antiche), la presenza di fenomeni di degrado o di dissesto.

2.2.3. Alcuni dati per la compilazione delle Schede conoscitive

Francesca Romana Stabile

I risultati del rilievo materico e costruttivo concorreranno alla compilazione delle Schede conoscitive dei manufatti che faranno riferimento anche al rischio sismico di cui al Cap. 8 delle NTC del D.M. del 14/01/08 (cfr. Par. 6.4).

Le schede dovranno contenere rappresentazioni grafiche riguardanti i seguenti sistemi dell'edificio:

- sistemi e componenti della struttura muraria;
- sistemi e componenti della copertura;
- sistemi e componenti della facciata;
- sistema dell'attacco a terra;
- strutture di elevazione verticali;
- strutture di elevazione orizzontali;
- scale e rampe;
- sistemi e componenti per la raccolta delle acque;
- elementi decorativi;
- intonaci esterni ed interni;
- serramenti, porte, portoni e grate;
- pavimenti;
- sistemazioni esterne;
- elementi accessori;
- percorsi storici;
- recinzioni.

Il rilievo servirà ad individuare in maniera critica l'organismo del fabbricato, tenendo presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costruttivi.

Speciale attenzione dovrà essere riservata alla valutazione della qualità muraria, includendo le caratteristiche geometriche e materiche dei singoli componenti, oltre che le modalità di messa in opera.

Di particolare importanza risulta essere:

- la presenza di elementi trasversali (denominati diatoni), di collegamento tra i paramenti murari; la forma, tipologia e dimensione degli elementi;
- il riconoscimento di una disposizione regolare e pressoché orizzontale dei corsi (o, in alternativa, la presenza di listature a passo regolare);
- la buona tessitura, ottenuta tramite l'ingranamento degli elementi (numero ed estensione dei contatti, presenza di scaglie) ed il regolare sfalsamento dei giunti;
- la natura delle malte ed il loro stato di conservazione;
- la presenza di elementi consolidanti nei diversi periodi storici.

La lettura di uno schema strutturale di funzionamento della fabbrica necessita di una conoscenza dei dettagli costruttivi e delle caratteristiche di collegamento tra i diversi elementi:

- tipologia della muratura (pietra sbozzata, squadrata, a spacco, o mista; a paramento unico, a due o più paramenti) e caratteristiche costruttive (tessitura regolare o irregolare; con o senza collegamenti trasversali, ecc.);
- qualità del collegamento tra pareti verticali (ammorsamento nei cantonali e nei martelli, catene, ecc.);
- qualità del collegamento tra orizzontamenti (solai, volte e coperture) e pareti, con rilievo dell'eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento (catene, ecc.);
- tipologia degli orizzontamenti (volte, coperture, solai), con particolare riferimento alla loro rigidità nel piano;
- tipologia ed efficienza degli architravi al di sopra delle aperture;
- presenza di elementi strutturalmente efficienti atti a equilibrare le spinte eventualmente presenti;
- presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità.

2.3. Il GIS per l'analisi e la sistematizzazione dei dati

Mauro Saccone

I sistemi GIS, nati per gestire informazioni spazialmente georiferite, trovano applicazione in molti contesti, a scale differenti, dalla gestione di dati territoriali sino a porzioni di settori urbani o singoli manufatti. Questi sistemi offrono grandi potenzialità per la gestione della documentazione, garantendo la sistematizzazione dei dati raccolti e la loro interoperabilità. Nell'ambito degli studi per il restauro urbano, il GIS consente di raccogliere informazioni caratteristiche relative ai centri storici per creare mappe delle tipologie edilizie del luogo e supportare i processi di conoscenza, documentazione, restauro⁶.

Il progetto OPERA propone alle amministrazioni delle Aree Interne del Lazio, qualora ne siano sprovviste, di dotarsi di uno strumento divenuto sempre più indispensabile per la gestione territoriale, utilizzando Open Data e strumenti di lavoro open source perfettamente in grado di gestire i dati necessari al progetto. Questi strumenti e questi dati rispondono alla logica dei principi FAIR⁷, ovvero rispettano un insieme di linee guida e *best practices* sviluppate per garantire che i dati, o qualsiasi oggetto digitale, siano *Findable* / Rintracciabili, *Accessible* / Accessibili, *Interoperable* / Interoperabili e *Re-usable* / Riutilizzabili.

Il GIS può, quindi, essere adoperato per raggiungere gli obiettivi del presente progetto ma, di fatto, il suo utilizzo ha anche il vantaggio di stimolare l'amministrazione comunale verso una digitalizzazione della gestione territoriale, trasferendo le informazioni di piani regolatori e piani territoriali su supporto informatico con la possibilità di renderli interattivi e aggiornabili. Il processo di digitalizzazione è fortemente incentivato da tutti i programmi europei, compreso il programma *Next Generation EU* della Commissione europea che, in alcune sue componenti, prevede fondi specifici per l'uso dei GIS sul territorio⁸, ed è previsto dalla direttiva INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe) adottata nel 2007⁹. Sulla base di tale direttiva i paesi membri devono provvedere a riorganizzare i dati territoriali prodotti dai soggetti pubblici stabilendo indirizzi comuni e adottando procedure condivise, tali da poter essere scambiati e resi disponibili anche ai cittadini attraverso portali e repertori dedicati. Come dimostra un importante studio sull'innovazione digitale nella gestione del territorio, pubblicato nel 2014 (Scanu, Podda, Scanu, 2014), è proprio a livello comunale che si possono garantire standard di efficienza operativa adeguati alle specifiche situazioni, piuttosto che rimandare a organizzazioni omologate a livello regionale o centrale. È dai piccoli comuni, che quotidianamente lavorano con i cittadini, che emergono i dati più importanti e le spinte più forti all'uso di queste tecnologie.

Dal 2003 un gruppo di ricercatori del Dipartimento di Architettura dell'Università Roma Tre¹⁰, utilizza questi strumenti per i progetti di Restauro Urbano sia in attività di didattica e ricerca sia per sviluppare attività di collaborazione con istituzioni nazionali e internazionali che ne riconoscono il valore.

2.4 L'individuazione delle strutture urbane minime (Sum)

Allegra Eusebio

I paragrafi precedenti hanno evidenziato come l'analisi del costruito (inteso come costruito storico nel caso specifico del testo, ma con possibilità di ampliare il concetto al costruito urbano nella sua totalità) finalizzata alla valutazione del rischio, necessita di uno sguardo profondo che tenga in considerazione le diverse scale e le diverse epoche storiche, riconoscendo per ognuna le caratteristiche distintive che le contraddistinguono. I criteri di lettura definiti a partire da queste considerazioni permettono al restauratore di riconoscere e comprendere i valori residenti dei luoghi e trasferirli nei cantieri di messa in sicurezza dell'edificato. L'analisi attenta consente di spogliare il costruito storico degli elementi incongrui.

Il progetto di messa in sicurezza quindi, tanto dell'edificato quanto del sistema urbano nella sua totalità, ha bisogno di uno sguardo profondo, che non si fermi agli aspetti geometrici ma scenda nel dettaglio degli aspetti costruttivi, materici, funzionali e sistemici così da scoprire la struttura resistente. La funzionalità di un sistema

⁶ Si veda: Box, 1999; Centofanti, Brusaporci, 2016; Campagna, *et al.*, 2014.

⁷ <https://www.go-fair.org/fair-principles/>

⁸ Come ad esempio il bando legato al PNRR, Missione 2 – Rivoluzione verde e transizione ecologica, Componente C4 - Tutela e valorizzazione del territorio e della risorsa idrica, che aveva una voce di spesa specifica per il rilievo delle reti idriche e loro rappresentazione tramite GIS per procedere all'asset management dell'infrastruttura.

⁹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=OJ:L:2007:108:TOC>

¹⁰ Si veda: Severati, 2006; Aguilar Merino, Canciani, Zampilli, 2012; Zampilli, 2012.

infatti non coincide con la sommatoria delle singole funzioni, né tantomeno la vulnerabilità urbana al rischio coincide con la sommatoria delle vulnerabilità dei singoli elementi, ma ne è piuttosto amplificata. Per trattare la messa in sicurezza del sistema urbano vi è quindi la necessità di muoversi da considerazioni di tipo ingegneristico a considerazioni di tipo urbanistico (Olivieri, 2013).

Nel campo dell'urbanistica, l'analisi della struttura resistente degli insediamenti urbani è svolta grazie allo strumento della SUM - Struttura Urbana Minima. Secondo la definizione fornita dalle *"Linee Guida per la definizione della Struttura Urbana Minima nei Prg"* (2010), la SUM - Struttura Urbana Minima è composta dal "sistema di percorsi, spazi, funzioni urbane ed edifici strategici per la risposta urbana al sisma in fase di emergenza e per il mantenimento e la ripresa delle attività urbane ordinarie, economico-sociali e di relazioni in fase successiva all'evento sismico". Dal punto di vista normativo, ne troviamo traccia nella legge urbanistica regionale LR n.11/2005 della Regione Umbria, che prescrive l'inserimento della SUM nei PRG, dimostrando di fatto un tentativo innovativo di attuazione di una pratica di mitigazione del rischio (sismico) all'interno di uno strumento di pianificazione ordinaria.

Nella sua definizione più comunemente utilizzata, la SUM costituisce la struttura resistente essenziale dell'organismo urbano in caso di sisma, anche in seguito alla possibile concatenazione di eventi secondari causati dal terremoto (frane e dissesti idrogeologici, eruzioni, incendi). È insieme strumento analitico e di progetto in quanto legge e interpreta l'esistente, tenendo in considerazione gli elementi previsti dagli strumenti di pianificazione e si dimensiona e si organizza anche prevedendo il miglioramento o potenziamento di funzionalità (Di Salvo *et al.*, 2013). In letteratura e nella pratica il concetto di SUM è sempre stato associato alla prevenzione del rischio sismico, ma le caratteristiche di tale strumento lo rendono facilmente adattabile a valutazioni del rischio di tipo multi-hazard. La struttura Urbana Minima riveste infatti fondamentali caratteri di strategicità (Olivieri, 2013). Essa esprime una scelta - tanto da parte degli attori che si occupano del governo del territorio, quanto da parte della comunità che il territorio lo abita - in base alla quale si selezionano valori identitari e funzionali indispensabili per la tenuta del centro urbano nella sua totalità, così che anche a seguito di eventi calamitosi le caratteristiche primarie e necessarie del centro siano assicurate.

Gli elementi appartenenti alla SUM sono individuabili rispondendo alla domanda *"Cosa deve resistere comunque?"* (Fazio *et al.*, 2010). Essi sono identificabili in due componenti principali: la Struttura Urbana Minima Funzionale e la Struttura Urbana Minima Identitaria.

La SUM Funzionale è costituita dall'insieme degli elementi che possono essere considerati strategici da un punto di vista del funzionamento del centro urbano. Tra questi possono rientrare i percorsi strutturanti, cioè i percorsi di attraversamento, di connessione con l'esterno, le principali vie di comunicazioni interne e le connessioni tra servizi primarie e strategici; le vie di fuga e gli spazi aperti sicuri; i nodi funzionali nevralgici, come le sedi degli organi di governo urbani e sovra-locali, le strutture sanitarie, gli edifici scolastici, le strutture della protezione civile, dei vigili del fuoco o delle forze dell'ordine. In quanto rappresentante del sistema urbano resistente in caso di disastro, tutte le funzioni primarie di questo devono essere rispecchiate nella definizione della SUM, ed è per questo che alle considerazioni di carattere funzionale devono essere associate valutazioni di carattere sociale e identitario. A partire da questi ragionamenti nasce quindi la Struttura Urbana Minima Identitaria, che è composta dall'insieme degli elementi e dai sistemi di spazi che caratterizzano l'immagine identitaria, storica e socio-culturale dell'insediamento urbano. Come alcune esperienze di ricostruzione post sismica ci hanno insegnato infatti, è necessario ed importante preservare tanto il patrimonio materiale, quanto quello immateriale, al fine di salvaguardare la memoria storica dei luoghi e l'identità delle comunità che li abitano (Fera, 2019). La SUM identitaria sarà quindi costituita da tutti quei luoghi che costituiscono elementi di elevato valore simbolico, come ragione di radicamento al luogo. Vi faranno parte quegli edifici e quei luoghi che per le funzioni svolte, per il loro significato, per la rilevanza storico-culturale indipendentemente dal loro valore come monumento, contribuiscono fortemente alla creazione e alla rappresentazione del tessuto sociale e della cultura locale, la cui perdita potrebbe compromettere la memoria della storia quotidiana e dell'identità comunitaria.

Ecco quindi che ritorna un concetto importante espresso nei paragrafi precedenti, che dimostra inoltre come la conoscenza del patrimonio costruito finalizzata alla sua messa in sicurezza sia possibile e completa solo se concepita con logiche integrate che considerino scale ed elementi diversi, dal territoriale al particolare. Come il rilievo deve sconfinare dagli aspetti puramente geometrici, per abbracciare considerazioni di tipo costruttivo, materico, manutentivo e strutturale, il progetto urbanistico della Struttura Urbana Minima, in particolare quella identitaria, deve essere in grado di leggere l'urbano con diverse lenti, così da cogliere tanto gli aspetti materiali quanto quelli immateriali.

3 Analisi e valutazione dei rischi ambientali.

3.1 Approcci metodologici specifici

3.1. Premessa¹

Elena Volpi

La vita quotidiana dei cittadini del mondo è minacciata da diversi rischi, di origine sia naturale, sia antropica; disastri naturali di varia entità come incendi boschivi, allagamenti, esondazioni dei corsi d'acqua e frane sono fenomeni abbastanza ricorrenti nei territori dell'Unione Europea (UE), mentre altri eventi calamitosi naturali come terremoti o eruzioni vulcaniche sono meno frequenti, ma nel lungo periodo sono probabili e passibili di provocare conseguenze potenzialmente catastrofiche in termini di perdita di vite umane ed entità dei danni. A questi eventi si aggiungono gli incidenti di origine antropica, ad esempio legati a produzione, uso, stoccaggio e trasporto di sostanze pericolose, che costituiscono una causa di rischio importante; con lo sviluppo di nuove e potenti tecnologie applicate alla produzione di energia, beni e servizi, sono stati apportati notevoli miglioramenti alla qualità della vita, ma contemporaneamente sono state introdotte nuove fonti di pericolo prima sconosciute. L'Italia risulta al primo posto tra i paesi industrializzati dell'UE per danni da calamità naturali come alluvioni, frane (solo un terzo del paese è geologicamente stabile) e terremoti, e dove solo di recente si è sviluppata la pianificazione dell'emergenza e di conseguenza il disaster management (la gestione della calamità).

I territori urbanizzati presentano in generale un'elevata suscettibilità ad eventi calamitosi naturali o di origine antropica, portatori di effetti negativi (danni) per l'uomo – persone, infrastrutture, beni storico-architettonico-culturali – e per l'ambiente. Tali danni possono fortemente influenzare lo sviluppo territoriale (Alcántara-Ayala, 2002). Lo studio del rischio derivante dal verificarsi di eventi calamitosi assume quindi un'importanza strategica:

- per mettere in atto processi decisionali ai fini della progettazione di efficaci azioni mitigative,
- per la redazione dei piani di emergenza e, di conseguenza, per un'adeguata gestione di quest'ultima,
- per una corretta pianificazione territoriale, che includa una appropriata gestione della risorsa ambiente, tenendo conto dei possibili effetti dei cambiamenti climatici in atto (IPCC, 2014; Terzi *et al.*, 2019), della crescita della popolazione e, più in generale, della globalizzazione. Recentemente il concetto di rischio ambientale, cioè la valutazione delle conseguenze immediate e remote di un danno, certo o eventuale, arrecato all'ambiente, ha assunto particolare importanza. Infatti, mentre prima della metà del secolo scorso, l'ambiente era considerato poco più di un semplice contenitore per l'uomo e per le varie specie vegetali e animali, oggi si pensa ad esso soprattutto come ad un complesso insieme di interazioni fisiche e biologiche e come ad una risorsa di per sé limitata, da gestire con grande cautela.

Nell'ambito della valutazione del rischio per gli scopi sopra descritti, una particolare attenzione va riservata alle modalità di comunicazione del rischio e di possibile coinvolgimento delle comunità nelle situazioni di rischio, sia per quanto riguarda la prevenzione (ossia la messa in opera di azioni di mitigazione e la pianificazione territoriale), sia per quanto riguarda la gestione dell'emergenza, ossia la capacità di coping dei singoli e dei gruppi una volta che l'evento catastrofico si è verificato (Bazarraghaa, 2012; Zubir and Amirrol, 2011; Isidori e Vaccarelli, 2013; Wells *et al.*, 2013; Burnside-Lawry and Carvalho, 2015).

¹ Il testo in premessa, curato da Elena Volpi, integra anche una sintesi dei contributi che i vari gruppi disciplinari hanno elaborato nel corso della ricerca, in particolare quelli di L. Martincigh e M. Di Guida.

Per gli scopi precedentemente elencati gli enti preposti potrebbero dotarsi di uno strumento di valutazione e gestione – il protocollo operativo esito della presente ricerca – basato su un approccio strutturato e trasparente all’analisi multirischio, ossia in cui le ipotesi di base, le semplificazioni adottate e gli approcci modellistici siano chiari e condivisi. Il risultato dell’analisi multirischio può essere visualizzato in mappe, anche interattive (e.g. web-mapping), che costituiscono esse stesse uno strumento di pianificazione, di prevenzione e in generale di gestione del rischio. Pur avendo una storia recente, l’analisi multirischio è già prevista dalla normativa vigente nella Comunità Europea e negli USA (per le quali si rimanda al capitolo 4).

Per l’analisi del rischio imputabile a uno o più fenomeni calamitosi sono oggi disponibili diverse procedure, molto spesso basate su approcci di natura empirico/analitica che ben si integrano in ambienti grafici come il GIS (e.g., Caprignano *et al.*, 2009). Tali sistemi si basano su almeno tre ingredienti, in accordo alle definizioni fornite dal Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030 e alla nota formula di Varnes (1984)

$$R = P \times V \times E$$

1. *Pericolosità* P. Essa viene quantificata per mezzo di curve di pericolosità, che esprimono la probabilità di superamento di una data intensità dell’evento calamitoso al variare dell’intensità stessa, in una data area e in un determinato intervallo di tempo. A tale scopo sono in genere utilizzati approcci di natura probabilistica, che però mal si prestano ad una rappresentazione grafica semplificata con strumenti GIS. Sono per questo disponibili approcci di natura deterministica in grado di identificare il livello di pericolosità semplicemente sulla base del valore dell’intensità relativa a stati di danno di riferimento (performance based approaches). In tal modo è possibile ridurre la pericolosità ad indici di pericolosità utili a rappresentazioni grafiche.
2. *Vulnerabilità* V. La vulnerabilità, a differenza della pericolosità, è legata direttamente alla risposta dell’ambiente naturale e antropico, in particolare alle prestazioni del costruito. Essa si riferisce alla propensione di un elemento/sistema ad essere colpito negativamente; è un concetto multidimensionale, non sempre univoco in letteratura, che si determina dall’interazione di più elementi, i cui principali sono la sensibilità e capacità adattiva: la prima viene definita come suscettibilità al danno, la seconda come la capacità di farvi fronte. In merito alle caratteristiche costruttive e tecnologiche del costruito si possono riportare i seguenti elementi di vulnerabilità: vulnerabilità a inondazione e/o allagamento; vulnerabilità a grandine e pioggia; compartimentazione interna; resistenza al vento di tetti ed elementi strutturali “deboli”; resistenza antisismica delle strutture; presenza di gas all’interno di determinati materiali costruttivi (radon, etc.). Lo strumento più utilizzato in letteratura per la quantificazione della vulnerabilità sono le curve di fragilità. Esse esprimono la probabilità di superamento di un dato stato di danno in funzione dell’intensità. La loro costruzione può essere basata su a) modelli analitici, b) approcci di tipo empirico, c) approcci basati sul giudizio esperto. La prima metodologia risulta essere in genere dispendiosa e spesso difficile da praticare per mancanza di dati e non è quindi adatta per approcci speditivi (si veda ad esempio Paolacci e Giannini, 2009). La seconda è in genere utilizzata quando si ha l’esigenza di valutare in maniera rapida il livello di vulnerabilità di una costruzione sulla base della sua tipologia e di pochi altri dati e quindi adatta ad una rappresentazione GIS (Sperling *et al.*, 2007). L’ultimo approccio è invece utilizzato in condizioni particolari, quando ad esempio si ha a che fare con strutture che non rientrano nel caso di costruzioni standard.
3. *Esposizione* E. Essa serve per quantificare le perdite dirette, ossia i costi strettamente legati alla riparazione del danno, e le perdite indirette, che possono essere sia economiche (costi per lo più legati ai contenuti e all’interruzione dell’operatività della costruzione) sia sociali (perdite umane, perdite di valore del bene culturale, etc.), conseguenti al raggiungimento di determinati livelli di danno. L’esposizione dipende dall’uso del suolo (*land use and cover*) e dalla densità della popolazione potenzialmente coinvolta; l’osservazione da sensori remoti, combinata con modelli dinamici di esposizione dei beni e della popolazione, rappresenta uno strumento efficace per la costruzione di database informativi anche alla scala globale. In genere è possibile legare direttamente il livello di danno alle perdite economiche, sicché è possibile esprimere le curve di fragilità direttamente in termini di perdite dirette o indirette (per cui sono di fondamentale importanza le stime dei danni post-evento).

Nei paragrafi che seguono verranno esposti gli approcci metodologici specifici per la quantificazione dei diversi rischi di origine naturale (terremoti, inondazioni, frane), dei rischi legati alla presenza di radon nel sottosuolo e a quelli dovuti a particolari condizioni microclimatiche estive. Tale premessa richiama il quadro scientifico operativo che introduce la successiva metodologia semplificata (capitolo 5), adottata nella presente ricerca, per l’individuazione – attraverso l’analisi multi-hazard – delle priorità di intervento.

3.2. Indagini geologiche preliminari per la valutazione dei rischi

Domenico Cosentino

Le pericolosità geologiche che maggiormente possono impattare a breve e a lungo termine sugli elementi esposti sono: l'attività sismica, l'attività vulcanica, i movimenti di massa sui versanti e l'emissione di gas dal suolo in condizioni indoor e outdoor. La presenza di queste pericolosità e il loro impatto sul paesaggio fisico e antropico sono strettamente legate alla natura del sottosuolo. La conoscenza di quest'ultima, in aree urbanizzate e non, è di fondamentale importanza per l'individuazione e la mitigazione delle pericolosità e, di conseguenza, dei rischi geologici e del multirischio. In sostanza, l'analisi del rischio deve partire da una conoscenza della geologia del territorio a scala regionale (in alcuni casi, il territorio può subire gli effetti di pericolosità che avvengono anche a centinaia di chilometri di distanza), per poi passare all'analisi del territorio ad una scala locale e alla successiva realizzazione di un modello geologico del sottosuolo dell'area in esame.

La conoscenza della geologia regionale si basa su un'approfondita ricerca bibliografica, soprattutto relativa alla cartografia geologica esistente per l'area di interesse, che vada a focalizzarsi sulla storia geologica e sui processi esogeni ed endogeni che caratterizzano il territorio. La sintesi regionale è di fondamentale importanza per evidenziare le differenti tipologie di pericolosità insite nell'assetto geologico del territorio da indagare.

La conoscenza della geologia a scala locale è di estrema importanza, per evidenziare le criticità geologiche del territorio e definirne le conseguenti pericolosità locali. Essa è funzionale alla produzione di un modello geologico del sottosuolo fondamentale per la definizione della pericolosità locale della maggior parte dei rischi naturali. La definizione del modello geologico del sottosuolo necessita di indagini di diverso tipo per caratterizzare dal punto di vista litologico, geometrico, geotecnico, geochimico e geofisico, il substrato e le litologie superficiali presenti nell'area in esame.

Le indagini necessarie per costruire un modello geologico del sottosuolo, possono essere così raggruppate in:

1. rilevamenti geologici, geomorfologici e litologico-tecnici;
2. indagini geognostiche e geofisiche;
3. indagini geotecniche (in sito e in laboratorio).

Questi dati, acquisibili in proprio, possono essere integrati con quelli reperibili da fonti open access, relativi a precedenti indagini geognostiche effettuate nel territorio in esame e a precedenti indagini geotecniche e geofisiche per la realizzazione di opere impattanti sul territorio. Sulla base delle informazioni raccolte, vengono prodotte rappresentazioni di dati 1D, 2D e, possibilmente, 3D del modello geologico del sottosuolo, a scala territoriale e/o urbana, a seconda delle esigenze e dei dati a disposizione.

Il Rilevamento geologico-tecnico viene effettuato per l'individuazione della distribuzione areale, in superficie, delle diverse litologie caratterizzanti l'area d'interesse; il prodotto finale di questa indagine sarà una cartografia geologico-tecnica, rappresentativa delle caratteristiche lito-tecniche delle diverse litologie presenti nell'area di interesse, elaborata attraverso una piattaforma GIS.

L'analisi dei sondaggi geognostici e geofisici presenti nell'area di interesse e reperibili su banche dati istituzionali open access (Portale ISPRA, Portale Centro MS, Portale del DPC) o presso gli uffici tecnici comunali, viene utilizzata per la rappresentazione 1D, 2D e 3D del modello geologico del sottosuolo, di fondamentale importanza per la definizione delle pericolosità geologiche e soprattutto della pericolosità in prospettiva sismica dell'area d'indagine.

Per una accurata definizione del modello geologico del sottosuolo, soprattutto in chiave di valutazione della pericolosità sismica di un territorio, è necessario conoscere il valore di alcuni parametri geofisici e geotecniche da cui dipende la risposta del sottosuolo a una data sollecitazione sismica. I principali parametri da misurare sono: la velocità delle onde di taglio (V_s); la misura del rumore ambientale (metodo HVSR o Nakamura); la densità, la resistività, la resistenza al taglio e alla compressione dei terreni del sottosuolo².

² Per quanto riguarda le indagini geofisiche propedeutiche alla definizione del modello geologico del sottosuolo di riferimento per un dato territorio, il laboratorio di Geofisica di Roma Tre svolge misure geofisiche di sismica attiva (MASW - Multichannel Automated analysis of Surface Waves, tomografia sismica a rifrazione mediante elaborazione con il software Rayfract) e passiva (misure di rumore ambientale per la determinazione delle frequenze fondamentali e delle amplificazioni mediante analisi H/V ed estrazione delle curve di dispersione tramite cross-correlazione dei segnali), e misure geoelettriche (tomografia geoelettrica). Il laboratorio di Geofisica esegue, inoltre, misure di laboratorio relative alla meccanica delle terre e delle rocce, funzionali alla definizione delle caratteristiche geotecniche delle rocce del substrato e dei terreni di copertura dell'area sottoposta ad indagini di pericolosità geologica. Queste e le prove geofisiche in situ permettono di determinare le proprietà fisiche (parametri elastici, resistività, etc.), la sismo-stratigrafia, e la conseguente struttura del sottosuolo. L'integrazione di queste analisi numeriche con quanto

3.2.1. Ricostruzione del modello geologico e geotecnico

Il modello geologico del sottosuolo si basa sulla ricostruzione, in profondità, delle relazioni geometriche tra le differenti rocce presenti in un dato territorio. Per la ricostruzione del modello geologico del sottosuolo è di fondamentale importanza il rilevamento geologico di superficie, che deve essere coadiuvato da indagini geofisiche (profili sismici a riflessione, tomografia elettrica, tomografia sismica, etc.) e geognostiche (perforazione di sondaggi stratigrafici). Il modello geologico del sottosuolo è un fondamentale strumento conoscitivo del territorio e rappresenta la base imprescindibile per una conoscenza approfondita delle criticità geologiche di un territorio. Per la definizione delle pericolosità geologiche di un territorio, il modello geologico del sottosuolo deve essere integrato con il modello geotecnico del sottosuolo. Quest'ultimo, oltre alla litologia dei terreni presenti, tiene conto delle loro caratteristiche geotecniche e geofisiche, ottenute attraverso prove penetrometriche dinamiche (Dynamic Probing Super Heavy o DPSH), volte ad ottenere informazioni sulla consistenza del terreno tramite l'infissione di una punta; prove sismiche attive (Multichannel Analysis of Surface Waves o MASW), in cui lo scuotimento che simula l'onda sismica viene generato dai colpi di una mazza al fine di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde S con la profondità, e prove sismiche passive (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio o HVSR) in cui non vengono generate vibrazioni.

I documenti cartografici che concorrono a rappresentare il modello geologico del sottosuolo sono una cartografia geologica, redatta su piattaforma GIS, a una scala adeguata all'indagine in corso (regionale, comunale, o più locale), e una serie di sezioni geologiche per evidenziare i rapporti geometrici in profondità tra le diverse rocce presenti nell'area d'indagine. L'integrazione del modello geologico del sottosuolo con i dati numerici relativi alle indagini geotecniche e geofisiche sarà propedeutica alla realizzazione della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) e alla carta di Microzonazione Sismica (MS), tutto su piattaforma GIS.

3.2.2. La pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base è la probabilità che l'evento sismico di riferimento per una data zona si verifichi nel corso di un dato periodo di tempo. La pericolosità sismica di base del territorio nazionale è riportata in tabelle ufficiali dell'INGV, ed è espressa in termini di accelerazione massima attesa su substrato rigido e pianeggiante, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Per avere una comprensione ottimale degli effetti di un terremoto sul territorio che si sta studiando, è buona norma consultare i cataloghi dei terremoti storici che l'INGV di Milano ha prodotto per i principali eventi sismici che hanno colpito il territorio nazionale. Questi cataloghi si basano sulla ricostruzione della distribuzione dei danni prodotti dal sisma nel territorio colpito dall'evento, basata sulle conoscenze storiche riportate dalle cronache del tempo. Questi cataloghi permettono di visualizzare quanti e quali terremoti storici, dall'anno 1000 fino al 2019, abbiano avuto effetti sul territorio in esame. In questi cataloghi, gli effetti del sisma vengono riportati e valutati in base ai gradi di intensità della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

Per la valutazione della pericolosità sismica di base, è inoltre importante la consultazione del catalogo delle sorgenti sismogenetiche (DISS) e delle faglie attive e capaci (ITHACA), per verificare la distanza del territorio in esame da eventuali sorgenti sismogenetiche.

3.2.3. La pericolosità sismica locale

Nel territorio colpito da un evento sismico di una data magnitudo, si possono avere differenti accelerazioni al suolo (effetti di sito), e quindi diversi gradi di pericolosità sismica locale, che dipendono esclusivamente dalle diverse caratteristiche stratigrafiche e morfologiche delle aree impattate dall'onda sismica. Quindi, per la valutazione della pericolosità sismica locale, è importante intraprendere una serie di azioni, tutte fondamentali, per individuare eventuali differenze nella risposta sismica locale di un territorio colpito da un terremoto:

- Il Rilevamento geologico-tecnico per l'individuazione della distribuzione areale, in superficie, delle diverse litologie caratterizzanti l'area d'interesse. Il prodotto finale di questa indagine sarà una cartografia geologico-tecnica, elaborata attraverso una piattaforma GIS.
- L'analisi dei sondaggi geognostici presenti nell'area di interesse, reperibili su banche dati istituzionali *open access* (Portale ISPRA) o presso gli uffici tecnici comunali. Questa analisi potrà essere utilizzata per

acquisito durante la microzonazione sismica di 1° livello porterà alla simulazione di modelli numerici del sottosuolo (1D e 2D) propedeutici alla realizzazione della vera e propria Microzonazione Sismica (3° livello di approfondimento), attraverso una rappresentazione cartografica sempre elaborata su piattaforma GIS.

- arrivare a delle rappresentazioni 1D, 2D e 3D del modello geologico del sottosuolo, di fondamentale importanza per la definizione della pericolosità in prospettiva sismica dell'area d'indagine.
- L'analisi delle indagini geofisiche presenti nell'area di interesse, reperibili su banche dati istituzionali *open access* (Portale Centro MS; Portale del DPC) o presso gli uffici tecnici comunali. Questa analisi, integrata con la precedente, potrà essere utilizzata per arrivare a delle rappresentazioni 2D e 3D del modello geologico del sottosuolo, di fondamentale importanza per la definizione della pericolosità in prospettiva sismica dell'area d'indagine.
 - La combinazione tra i dati della cartografia geologico-tecnica, che rappresenta un modello geologico 2D di superficie, e quelli dei modelli 2D e 3D di sottosuolo, porteranno alla rappresentazione cartografica della microzonazione sismica di 1° livello dell'area in esame. In questa carta, elaborata sempre su piattaforma GIS, verranno indicate le zone (microzone) omogenee in prospettiva sismica (Carta delle MOPS), cioè le aree che, in base alle analisi svolte, presentano un identico modello geologico del sottosuolo.
 - La caratterizzazione geofisica delle singole MOPS, per verificare che le diverse microzone individuate con la carta delle MOPS abbiano anche dal punto di vista geofisico (propagazione delle onde elastiche) un comportamento omogeneo e differente dalle MOPS limitrofe. La combinazione di queste analisi con quelle acquisite attraverso la microzonazione sismica di 1° livello porterà alla rappresentazione cartografica della microzonazione sismica (MS) di 3° livello, sempre elaborata su piattaforma GIS.

3.2.4. Microzonazione sismica

Per Microzonazione Sismica si intende la valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da un comportamento sismico omogeneo. Lo scopo è quello di riconoscere, a scala sufficientemente grande (comunale o sub-comunale), le condizioni locali che possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture (Fig. 1).

Gli studi di Microzonazione Sismica possono essere svolti, a seconda delle necessità, a tre livelli di approfondimento:

- Livello 1: è obbligatorio per tutti i comuni della Regione Lazio che predispongono nuovi strumenti urbanistici generali e/o loro varianti generali dalla data di pubblicazione della D.G.R. Lazio 545, ovvero 26 novembre 2010. È propedeutico agli studi di livello superiore, permette di individuare, a livello qualitativo, le zone a minore pericolosità e di programmare indagini di approfondimento. I prodotti dello studio comprendono una carta delle indagini ed una carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), all'interno della quale il territorio viene suddiviso in zone omogenee in cui si prevedono diversi effetti:
 - Zone stabili: non si prevedono modifiche rispetto allo scuotimento atteso su suolo rigido ed orizzontale (pericolosità sismica di base). Nella carta delle MOPS, vengono rappresentate con gradazioni di blu associate alla tipologia di substrato, alla stratificazione, ed al grado di fratturazione (J_v compreso tra 0 e 15).
 - Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: sono attese modifiche rispetto allo scuotimento atteso su suolo rigido ed orizzontale per cause stratigrafiche o morfologiche. Ciascuna microzona corrisponde ad una determinata successione litologica (substrato fratturato con $J_v > 15$, o in zone con pendii $> 15^\circ$; substrato + copertura). Nella carta delle MOPS, queste microzone sono rappresentate con gradazioni di verde e di giallo.
 - Zone instabili: si prevedono deformazioni permanenti dovute a fagliazione superficiale, cedimenti differenziali, instabilità di versante, o liquefazione del terreno.
- Livello 2: introduce un elemento quantitativo. Gli studi geologici per questo livello di approfondimento devono essere finalizzati all'acquisizione di dati numerici indispensabili per l'introduzione di elementi quantitativi per il calcolo del fattore di amplificazione (FA) in superficie dello scuotimento sismico indotto dal terremoto di riferimento (pericolosità sismica di base). Questo può avvenire tramite l'utilizzo di abachi sui valori delle principali proprietà meccaniche non lineari delle rocce presenti nell'area, che possono essere messi a disposizione dalle Regioni (per il Lazio DGR n.155/2020), dal DPC, oppure acquisite ad hoc per studi di microzonazione sismica di secondo o terzo livello. Nella carta di microzonazione sismica fornita per questo livello di approfondimento, ciascuna zona suscettibile di amplificazione locale è associata a tre fattori di amplificazione relativi a tre diversi periodi di scuotimento. Viene, inoltre, quantificata la pericolosità sismica anche per le zone instabili, in funzione del tipo di fenomeno che le interessa. Per il calcolo del fattore di amplificazione del moto sismico, che è il rapporto tra l'accelerazione al suolo e l'accelerazione indotta dal terremoto di riferimento all'interfaccia tra substrato sismico e copertura, è

indispensabile definire:

1. il moto sismico di riferimento, attraverso l'uso di accelerogrammi reali o sintetici;
2. il modello geologico del sottosuolo;
3. le proprietà meccaniche non lineari delle rocce (peso specifico, profilo delle velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità, curve di decadimento del modulo di taglio e di incremento del fattore di smorzamento);
4. analisi numerica non lineare;
5. la rappresentazione del moto sismico in superficie.

Nella carta di microzonazione sismica fornita per questo livello di approfondimento, ciascuna zona suscettibile di amplificazione locale è associata a tre fattori di amplificazione relativi a tre diversi periodi di scuotimento (0.1-0.5 s; 0.4-0.8 s; 0.7-1.1 s). Viene, inoltre, quantificata la pericolosità sismica anche per le zone instabili, in funzione del tipo di fenomeno che le interessa.

- Livello 3: è il livello di massimo approfondimento, si applica a zone stabili suscettibili di amplificazioni locali complesse o vaste, ad opere di particolare rilevanza o ancora a zone suscettibili di instabilità particolarmente ampie o complesse. Questo livello prevede l'utilizzo di tecniche di modellazione numerica 1D o 2D ed analisi dinamiche per la instabilità di versante e la liquefazione. In questo livello rientra anche lo studio paleosismologico delle faglie potenzialmente attive e capaci.

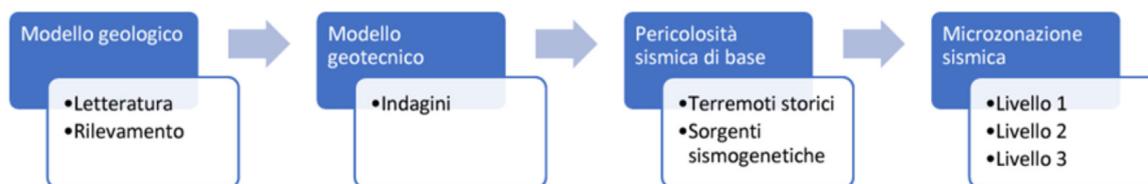


Fig. 1 Schema grafico che sintetizza la metodologia operativa.

3.3. Metodologie di valutazione del rischio sismico

Fabrizio Paolacci

L'approccio per il calcolo del rischio sismico delle strutture, come per altre tipologie di rischio, si basa sull'integrazione delle tre componenti del rischio (pericolosità, vulnerabilità, esposizione). A tale scopo si possono utilizzare sia metodi speditivi che di maggiore dettaglio. Nello specifico, il seguente studio propone l'utilizzo di metodi qualitativi, che fanno riferimento a valutazioni speditive, per la definizione delle priorità di intervento e di metodi quantitativi, che si suddividono a loro volta in metodi analitici e metodi empirici, per le successive valutazioni di approfondimento.

I metodi di maggior dettaglio permettono di determinare la frequenza media annua di superamento λ di un certo stato limite strutturale LS, basata sull'integrale seguente, che rappresenta la generalizzazione formula di Varnes (1984), che indicava in maniera informale l'integrazione tra le diverse componenti del rischio (pericolosità, vulnerabilità, esposizione):

$$P[LS] = \int_0^{\infty} P[D > LS | IM] d(IM) \quad (x)$$

dove IM è l'intensità sismica del terremoto, spesso identificata con l'accelerazione al suolo o peak ground acceleration (PGA), mentre D è il parametro di risposta strutturale. La funzione $P[D > LS | IM]$ è la probabilità di superamento di un certo stato limite LS condizionata ad una data intensità sismica IM, nota in letteratura come funzione di fragilità mentre $\lambda(IM)$ è la frequenza media annua di occorrenza di un terremoto di intensità sismica IM, nota in letteratura come curva di pericolosità di sito.

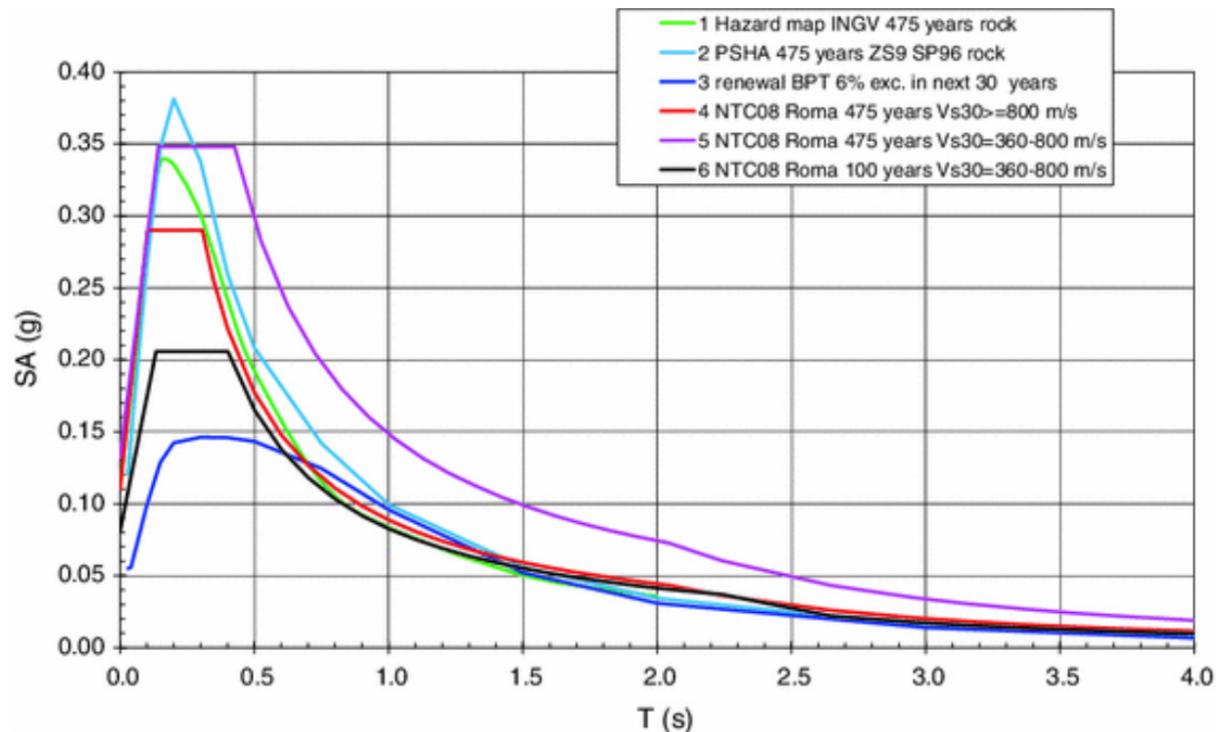
La curva di pericolosità sismica di sito si può ricavare utilizzando un approccio di natura probabilistica (Cornell, 1968), noto anche come Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). Mappe di pericolosità sismica elaborate dall'INGV sono disponibili al sito web <http://esse1.mi.ingv.it/> (Meletti *et al.*, 2007). Per una elaborazione di queste mappe possono essere usati software quali CRISIS (Ordaz *et al.*, 2013) o Openquake (Pagani *et al.*, 2014, <https://www.globalquakemodel.org/openquake>). Esse possono essere facilmente implementate in un GIS. Le mappe di pericolosità sismica possono tenere conto anche del tipo di suolo. In teoria, per ciascun sito esaminato

bisognerebbe disporre di studi approfonditi di microzonazione sismica o di indagini puntuali con le quali assegnare una categoria di suolo semplificata (ad esempio la classificazione proposta dall'Eurocodice 8 e dalle NTC 2018). Alcuni autori, in mancanza di studi più approfonditi hanno fatto uso delle mappe della VS₃₀ fornite dall'USGS (Vanzi *et al.*, 2015). È inoltre disponibile sul portale IPSRA una mappa delle condizioni topografiche, il cosiddetto DEM (Digital Elevation Model) <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/dem20/view>.

Oltre alle curve di pericolosità è possibile determinare il cosiddetto Spettro a Pericolosità Uniforme (Uniform Hazard Spectrum – UHS), che esprime, per un determinato periodo di ritorno dell'azione sismica, (inverso della frequenza media annua di superamento di IM), l'accelerazione spettrale in funzione del periodo proprio della struttura. Questi spettri risultano particolarmente utili alla definizione dell'azione sismica. Infatti, come noto, la normativa (NTC 2018) esprime l'azione sismica proprio in termini di spettri di progetto, forniti per diversi periodi di ritorno corrispondenti a diversi potenziali stati limite (ad esempio stato limite di salvaguardia della vita). Essi derivano di fatto dagli UHS che sono stati semplificati e standardizzati. Questi spettri sono definiti su una griglia piuttosto fitta del territorio nazionale, e sono di fatto considerabili frutto di una zonazione sismica locale standard. Ovviamente i parametri locali, come quelli geotecnici sono per l'appunto standard, e per una valutazione più accurata occorrerebbe effettuare una microzonazione sismica che contempli in maniera puntuale gli effetti di amplificazione di sito. Un esempio di UHS a confronto con gli spettri di normativa sono illustrati in figura 1.

Per una analisi sismica di scenario si può invece utilizzare la tecnica della disaggregazione sismica (Bazzurro, Cornell, 1999). Essa rappresenta una tecnica che permette di valutare gli eventi sismici, definiti tipicamente in base ai due parametri Magnitudo (M) e Distanza sito-sorgente (R), che hanno la maggiore probabilità di produrre le accelerazioni attese. Con i risultati della disaggregazione è possibile individuare un terremoto di scenario, scelto dal catalogo storico degli eventi sismici (Rovida *et al.*, 2016), anche quest'ultimo facilmente implementabile in GIS.

Fig.1
Esempio di Spettri UHS.



I dati disponibili per la definizione della pericolosità del sito sono i seguenti:

- mappa nazionale accelerazione spettrale per diversi periodi di ritorno (MPS04 del Progetto S1 INGV-DPC, 2007), e Mappa nazionale disaggregazione di ag in termini M-R (MPS04 del Progetto S1 INGV-DPC, 2007);
- mappa nazionale del sottosuolo in termini di VS₃₀ (USGS);
- mappa nazionale delle condizioni topografiche (DEM Ispra).

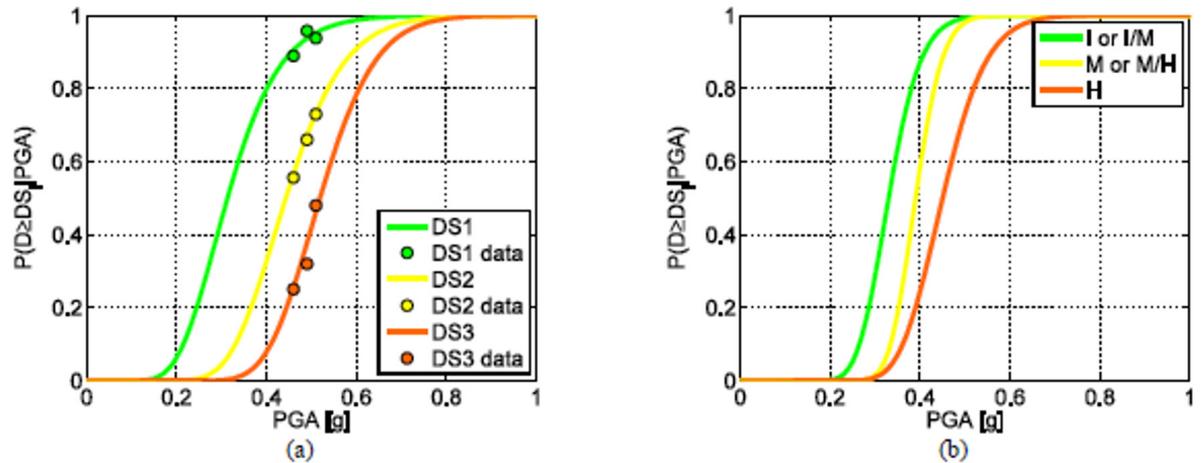
Tipologia di struttura		Classe di vulnerabilità					
		AEMS	BEMS	CEMS	DEMS	EEMS	FEMS
MURATURA	Muratura di pietra senza legante (a secco)	●					
	Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	●	—				
	Muratura di pietra sbazzata		●				
	Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali		—	●	—		
	Muratura di mattoni e pietra lavorata		●	—			
	Muratura di mattoni e solai di rigidità elevata		—	●	—		
	Muratura rinforzata e/o confinata			—	●	—	
CALCESTRUZZO ARMATO	Telai con un livello di progettazione antisismica nullo			●	—		
	Telai con un livello di progettazione antisismica moderato		—	●	—		
	Telai con un livello di progettazione antisismica elevato				—	●	—
	Pareti con un livello di progettazione antisismica nullo		—	●	—		
	Pareti con un livello di progettazione antisismica moderato			—	●	—	
	Pareti con un livello di progettazione antisismica elevato				—	●	—

Fig.2
Classi di vulnerabilità, EMS-98.

La vulnerabilità strutturale è tipicamente espressa in termini di curve di fragilità. Esse rappresentano funzioni di probabilità di superamento di un certo stato di danno per una determinata intensità sismica IM. Queste possono essere ottenute per mezzo di metodi analitici o empirici. L'approccio più frequente si basa sulla valutazione della risposta strutturale attraverso analisi agli elementi finiti (FEM). Per applicare il metodo è necessario però conoscere nel dettaglio la geometria ed i materiali della singola struttura. Questo tipo di approccio può portare a tempi lunghi di elaborazione dati che sono funzione della complessità del modello FEM. Esempi di questo approccio sono i lavori di Lang and Bachmann (2003) e D'Ayala e Kishali (2012) che hanno usato metodi di analisi non lineari per studiare il comportamento nel piano e fuori dal piano di edifici in muratura non rinforzata (URM). Altri esempi sono quelli forniti ad esempio da Calvi *et al.* (2006), Borzi *et al.* (2008a, 2008b), Crowley *et al.* (2008) e Del Gaudio *et al.* (2015). Un approccio meno accurato ma più pratico è rappresentato dai metodi empirici. Il loro vantaggio principale è che permettono una valutazione immediata della vulnerabilità e possono essere utilizzati anche in mancanza di dettagli su geometria e materiali della struttura. Questi metodi attribuiscono il livello di vulnerabilità dividendo le costruzioni in classi, o usando degli indicatori tipologici. Un esempio è la classificazione proposta dalla EMS-98 (Grünthal *et al.*, 1998), riportata nella figura 2. Gli edifici sono divisi in 6 classi di vulnerabilità, da A a F, le costruzioni più vulnerabili appartengono alla Classe A. Gli edifici sono classificati in base alla tipologia strutturale. Chiaramente si tratta di una scala estremamente semplificata. La calibrazione delle curve di fragilità può essere effettuata anche utilizzando i dati dei sopralluoghi effettuati dopo gli eventi sismici. Le schede AEDES (Baggio *et al.*, 2002), schede di agibilità e del danno post-sismico degli edifici compilate dopo i terremoti recenti (L'Aquila 2009, Emilia 2012, Centro Italia 2016), contengono una grande quantità di informazioni perché vengono compilate dopo un'ispezione speditiva della struttura nei giorni successivi ai terremoti. Dal rilievo dei danni di un determinato centro abitato è possibile costruire una mappa dei danni rilevati e, se è possibile stimare le intensità sismiche verificatesi nel centro stesso, è possibile elaborare delle curve di fragilità a partire da questi dati. Esempi di applicazione di questo approccio sono contenuti nei lavori di Rota *et al.* (2008), Colombi *et al.* (2008), De Luca *et al.* (2015). Un esempio è riportato in figura 3. Un database particolarmente completo di curve di fragilità è quello fornito in HAZUS (Hanus, 2001). Questo programma di ricerca nazionale promosso negli stati uniti dalla FEMA, ha permesso la definizione, per diverse tipologie costruttive, dei parametri delle curve di fragilità. Questi sono facilmente utilizzabili per la valutazione della frequenza media annua di occorrenza del danno, una volta nota la curva di pericolosità sismica di sito. I metodi speditivi che si basano sulla valutazione qualitativa del rischio, per mezzo di indici, sia in termini di

Fig. 3

Curve di fragilità osservazionali (empiriche) ottenute con i dati di 131 edifici a Pettino (AQ) (De Luca *et al.*, 2015).



pericolosità che di vulnerabilità, nonché di esposizione. Nel caso di edifici in muratura, per il calcolo del rischio sismico esiste la possibilità di operare in forma estremamente semplificata. Il D.M. 58/2017 (legato all'istituzione del sisma bonus) ha infatti introdotto, soltanto per edifici in muratura, un metodo semplificato che si basa su una classificazione macrosismica dell'edificio. Esso è indicato per una valutazione speditiva della classe di rischio di edifici con struttura portante in muratura. Le modalità applicative di tale metodo si basano sulla European Macroseismic Scale (EMS-98) diffusa nel 1998 come aggiornamento della versione di prova del 1992. Questo metodo, ulteriormente semplificato, è stato utilizzato per le valutazioni speditive di tipo qualitativo nella presente ricerca e verrà illustrato in dettaglio nel paragrafo 5.3.

3.4. Metodologie di valutazione del rischio idrologico/idraulico

Elena Volpi

Il rischio di alluvione è la combinazione della probabilità di un evento alluvionale e delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e l'attività economica derivanti da tale evento (Direttiva Europea "Alluvioni", 2007/60/CE), dove alluvione significa l'allagamento temporaneo di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua. Ciò include le inondazioni causate da fiumi, torrenti di montagna, corsi d'acqua temporanei mediterranei, e le inondazioni marine delle zone costiere e può escludere gli allagamenti causati dagli impianti fognari.

Secondo Varnes (equazione $R = P \times V \times E$) commentata in premessa al capitolo), il rischio è il prodotto della pericolosità, o probabilità che l'evento si verifichi in un intervallo di tempo (es. 1 anno), il valore economico dei beni esposti e la loro vulnerabilità, o frazione del valore che viene effettivamente distrutta dall'evento; il prodotto di vulnerabilità e valore esposto rappresenta il danno. Tale formulazione definisce degli scenari, quantificando in termini economici i danni conseguenti ad eventi alluvionali che hanno una certa probabilità di verificarsi in un fissato intervallo di tempo, dove la probabilità è usualmente espressa in termini di tempo di ritorno.

L'approccio classico alla valutazione del rischio di alluvione prevede i seguenti passi:

1. definizione degli scenari di pericolosità o degli eventi di piena sintetici caratterizzati da uno specifico valore del tempo di ritorno; la determinazione degli eventi di piena di progetto si basa sull'analisi statistica degli eventi di piena già verificatisi in passato o sull'analisi statistica delle precipitazioni intense (come osservate sull'area di studio) seguita dall'applicazione di modelli di trasformazione pioggia-portata a scala di bacino idrografico;
2. applicazione di modelli idraulici (monodimensionali o bidimensionali) di propagazione delle onde di piena nei tratti dei corsi d'acqua di interesse e nelle zone limitrofe ad esso tenendo conto delle eventuali condizioni di urbanizzazione e di difesa idraulica;
3. perimetrazione delle aree interessate dall'inondazione per ciascuno scenario di probabilità (mappe di pericolosità);
4. individuazione dei beni esposti e della densità di popolazione nelle aree di inondazione e determinazione, tramite opportuni modelli che determinano il valore del danno in base alle caratteristiche dell'area e dell'inondazione (altezza e velocità dell'acqua nelle zone allagate);
5. perimetrazione delle aree a danno costante (mappe di rischio).

La mappatura del rischio sul territorio nazionale è effettuata dalle Autorità competenti, le Autorità di Bacino

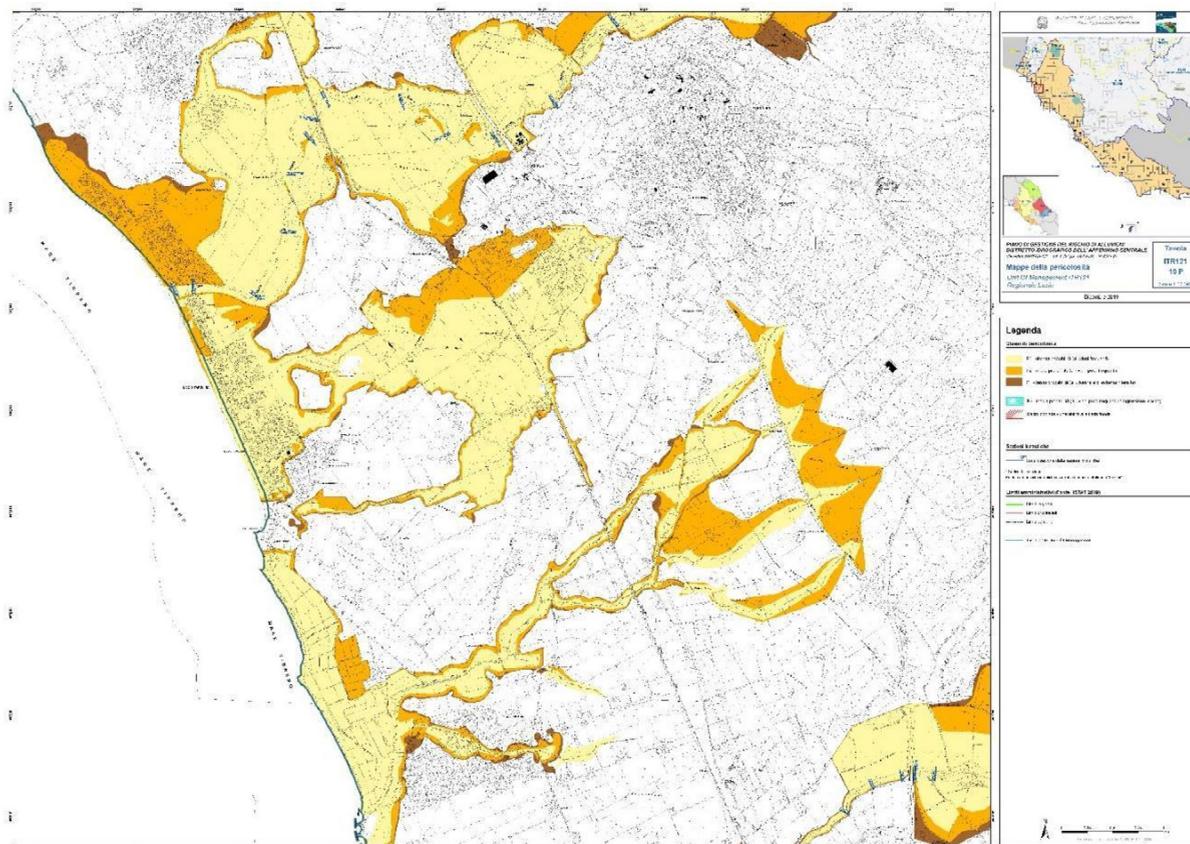


Fig 1
 Mappa di pericolosità per il F. Marta alla foce (Autorità di distretto dell'Appennino Centrale, 12/2021; <https://www.autoridadistrettoac.it/pianificazione/pianificazione-di-strettuale/pgaac/pgaac2/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni-pgaaac-i-i-ciclo/mappe-di-pericolosita-e-rischio-dicembre>).

Distrettuale (Direttiva Europea Quadro sulle Acque, 2000/60/CE e L. 152/2006), su tutto il reticolo idrografico principale e secondario. Il livello di dettaglio con cui l'analisi è già stata svolta (come previsto dalla normativa europea, Direttiva Alluvioni 2007/60/CE e d.lg 49/2010 e successive modificazioni) dipende dall'analisi preliminarmente svolta sulla base dell'informazione storica relativa alla pericolosità dell'area di studio. A supporto della definizione preliminare delle aree a rischio è stato concepito il catalogo degli eventi alluvionali FloodCat (Flood Catalogue), una piattaforma web-GIS realizzata dal Dipartimento di Protezione Civile (DPC) in collaborazione con l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e la fondazione CIMA (Centro Internazionale Monitoraggio Ambientale) per consentire la raccolta sistematica delle informazioni sugli eventi alluvionali del passato.

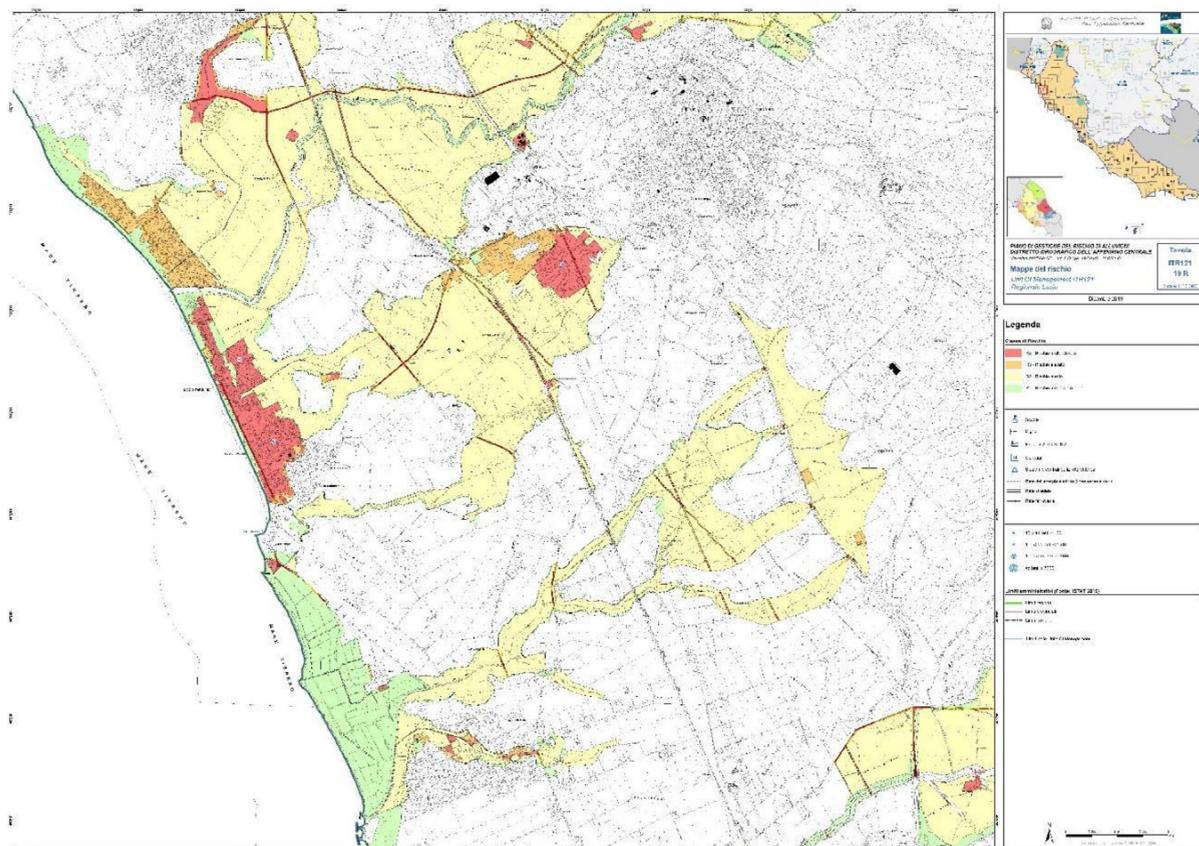
Un esempio di mappe di pericolosità e rischio definite dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (aggiornate a dicembre 2021) è riportato nelle figure 1 e 2.

Si noti che la Direttiva europea 2007/60/CE, così come il D.Lg 49/2010 di sua attuazione, si focalizza sul rischio dovuto all'erosione dei corsi d'acqua e all'inondazione marina in aree costiere; tuttavia anche l'insufficienza dei sistemi di drenaggio urbano può comportare un allagamento temporaneo. Il danno conseguente a questo tipo di allagamenti, così come il rischio complessivo cui è soggetta l'area, può essere valutato adottando la medesima procedura descritta in precedenza. Tuttavia, si può affermare che in generale il danno conseguente all'insufficienza del reticolo di drenaggio urbano è generalmente modesto. Negli allagamenti fognari l'acqua da cui difendersi è quella precipitata su una superficie urbana di limitata estensione, tipicamente priva di apporti da vasti bacini esterni, per cui i quantitativi in gioco sono relativamente modesti anche per tempi di ritorno elevati. Le condizioni attese sono di rischio limitato. Si potrebbero tuttavia presentare situazioni locali, di particolare pericolosità, dove l'acqua defluisce con velocità particolarmente elevate e forti tiranti, ad esempio negli impluvi (come i sottopassi stradali) in cui si concentrano i deflussi di aree relativamente ampie.

Laddove l'area di interesse non sia coperta dalle mappe di rischio prodotte dall'Autorità distrettuale competente, si applica la procedura sopra esposta. Questa richiede l'implementazione di opportuni modelli: statistici e idrologici, per la quantificazione probabilistica degli eventi; idraulici, per la determinazione delle aree interessate dalla propagazione delle piene (estensione delle aree inondabili e caratteristiche idrauliche dell'inondazione); socio-economici, per determinare il danno conseguente ad allagamenti di caratteristiche prefissate in funzione

Fig 2

Mappa di rischio per il F. Marta alla foce (Autorità di distretto dell'Appennino Centrale, 12/2021; <https://www.autoritadi-strettoac.it/pianificazione/pianificazione-distrettuale/pgraac/pgraac2/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni-pgraac-i-i-ciclo/mappe-di-pericolosita-e-rischio-dicembre>).



delle tipologie di beni esposti. In particolare, diversi modelli possono essere usati per la stima della pericolosità, differendo fra loro significativamente in termini di informazioni richieste in ingresso (i.e., dati), e di conseguenza, di accuratezza o dettaglio nell'output restituito; in ogni caso le stime sono caratterizzate da un'incertezza non trascurabile (dell'ordine del 20%). Per la stima delle singole componenti di pericolosità, vulnerabilità e valore esposto, si rimanda ai paragrafi che seguono. Il metodo più semplice per la valutazione della vulnerabilità, e quindi del rischio, si basa su un approccio qualitativo, per classificazione, come previsto dalla normativa europea e nazionale attualmente vigente. La procedura si basa sull'intersezione delle classi di pericolosità definite dagli scenari con associato tempo di ritorno e le classi di vulnerabilità per l'identificazione di classi di rischio. L'approccio cosiddetto qualitativo, ossia basato sulla classificazione della pericolosità e della vulnerabilità, è stato adottato nel presente lavoro (capitolo 5).

3.4.1. La pericolosità

La pericolosità è identificata ai punti 1-3 della procedura di cui al paragrafo precedente. La determinazione della forzante idrologica e degli effetti al suolo per ciascuno scenario richiede generalmente l'acquisizione delle seguenti informazioni:

- cartografia del bacino idrografico e modello digitale del terreno ad una risoluzione adeguata alle dimensioni del bacino idrografico di interesse, generalmente reperibile dal Ministero per la Transizione Ecologica (MITE) e dalle Regioni;
- informazione idrologica costituita dalle osservazioni di precipitazione, di livello idrometrico e di portata nelle sezioni fluviali di interesse; si pone particolare attenzione alla ricostruzione delle serie storiche di osservazione degli eventi estremi in base ai quali è possibile effettuare le analisi statistiche per la determinazione dei tempi di ritorno, reperibili dai Servizi Idrologici Regionali e dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, ISPRA;
- mappe della geolitologia (rese disponibili dalle Regioni o da ISPRA) e dell'uso del suolo (Corine Land Cover, ISPRA);
- rilievi topografici delle sezioni d'alveo e delle opere d'arte (e.g. attraversamenti stradali e ferroviari);

- informazione storica sull'evoluzione morfologica dell'alveo e sugli eventi alluvionali occorsi nel passato, come richiesto dalla stessa Direttiva Alluvioni per la definizione preliminare delle aree a rischio.

Le mappe di pericolosità contengono la perimetrazione delle aree geografiche che potrebbero essere interessate dall'esonazione di un corso d'acqua secondo i seguenti scenari:

- scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (tempo di ritorno compreso fra 100 e 500 anni);
- media probabilità di alluvioni (tempo di ritorno compreso fra 100 e 300 anni);
- elevata probabilità di alluvioni (tempo di ritorno inferiore a 100 anni);

indicando per ogni scenario i seguenti elementi:

- estensione dell'inondazione;
- altezza idrica o livello;
- caratteristiche del deflusso (velocità e portata).

Indicazioni operative per la determinazione delle portate di piena e per la redazione delle mappe di pericolosità possono essere fornite dalle singole Autorità distrettuali competenti. In generale, l'applicazione dei modelli idrologici-idraulici richiede un certo onere computazionale che dipende fortemente dalla complessità dei modelli e dal livello di dettaglio del risultato atteso. È possibile ridurre notevolmente l'onere di computazione adottando metodi di natura speditiva che, a fronte di un'approssimazione maggiore nella rappresentazione dei processi coinvolti, garantiscono un risparmio notevole in termini di risorse di calcolo, oltre a richiedere un più limitato quantitativo di informazioni in ingresso. I modelli speditivi sono applicati ad oggi per l'identificazione preliminare delle aree dove è necessario effettuare studi di dettaglio; essendo questi modelli ancora oggetto di attività di ricerca, essi non sono parte integrante di una metodologia standard.

I metodi speditivi per la quantificazione della pericolosità sono essenzialmente di natura empirica e richiedono in ingresso solo un modello digitale del terreno (Digital Terrain Model, DTM), identificando l'estensione dell'inondazione esclusivamente sulla base dell'informazione geomorfologica (e.g., Samela *et al.*, 2018). Questa tipologia di modelli risulta essere estremamente utile in zone prive di informazioni idrologiche rilevate (ossia bacini idrografici non strumentati); tuttavia essa non fornisce risultati che possano essere associati facilmente a scenari con un tempo di ritorno fissato e presenta un'accuratezza che dipende molto dal dettaglio nella rappresentazione del territorio (e.g., Petroselli, 2012).

In alternativa, l'approccio speditivo può prevedere di calcolare la portata di piena che transita nel corso d'acqua in esame con assegnato tempo di ritorno (secondo gli scenari previsti dal D.Lgs. 49/2010, tipicamente 50, 200 e 500 anni di tempo di ritorno) con metodi idrologici più o meno semplici (e.g. la formula razionale) e di valutare le aree interessate dall'esonazione di tali portate dal corso d'acqua nella valle facendo uso di modelli concettuali semplificati; questi non rappresentano nel dettaglio il processo fisico della propagazione delle piene e utilizzano in ingresso solo il modello digitale del terreno (DEM) (e.g. Nobre *et al.*, 2011; Zheng *et al.*, 2018; Pavesi, 2022).

I modelli idrodinamici di dettaglio, invece, consentono di simulare la propagazione delle portate di piena nel corso d'acqua e nella valle utilizzando i rilievi topografici delle sezioni d'alveo e delle opere d'arte e il modello digitale del terreno. I modelli idrodinamici richiedono una quantità di informazioni in ingresso molto maggiore di quanto richiesto negli approcci speditivi; inoltre essi devono essere calibrati sulla base dell'informazione idrometrica disponibile, ossia sulla base delle osservazioni di eventi alluvionali occorsi nel passato, in termini di livelli idrometrici e portate di piena.

3.4.2. La vulnerabilità

La valutazione della vulnerabilità di norma è effettuata sulla base delle caratteristiche di urbanizzazione del territorio che vengono associate a classi di cosiddetto "danno potenziale". Il D.Lgs. 49/2010 che recepisce in Italia la FD 2007/60 CE prevede che le mappe del rischio rappresentino le classi di in termini di:

- numero indicativo di abitanti potenzialmente interessati;
- infrastrutture e strutture strategiche (autostrade, ferrovie, ospedali, scuole, ecc.);
- beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse presenti nell'area potenzialmente interessata;
- distribuzione e tipologia delle attività economiche insistenti sull'area potenzialmente interessata;
- impianti di cui all'allegato I del D.Lgs. 59/2005 che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di alluvione e aree protette di cui all'allegato 9 alla parte III del D.Lgs. 152/2006;
- altre informazioni considerate utili dalle autorità distrettuali, come le aree soggette ad alluvioni con elevato volume di trasporto solido e colate detritiche o informazioni su fonti rilevanti di inquinamento.

Tali informazioni sono quelle necessarie per l'identificazione del danno potenziale secondo gli "Indirizzi operativi per l'attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni (D.Lgs. 49/2010)".

3.4.3. Il rischio

L'associazione pericolosità/danno potenziale viene effettuato, incrociando gli scenari di pericolosità come definiti dal D.Lgs. 49/2010 con le classi di danno potenziale. Questo consente di associare alle aree omogenee in termini di pericolosità e danno potenziale una classe di rischio, da R1 a R4 come definite dal DPCM del 29 settembre 1998

- R1: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- R2: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- R3: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- R4: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

Il rischio può essere valutato quantitativamente in ciascun punto dell'area di studio come valore atteso del danno, considerando con continuità tutte le possibili condizioni di pericolosità e danno conseguente, superando di fatto l'adozione di singoli scenari di pericolosità suggeriti dalla formula di Varnes e dalla normativa europea ed italiana. Il rischio viene allora espresso dalla seguente relazione integrale (e.g. Merz *et al.*, 2010), applicabile a differenti scale spaziali e temporali

$$R = E[D] = \int_0^1 d[h(Q_c, W, \Delta t, \dots), v(Q_c, W, \Delta t, \dots), S(Q_c, W, \Delta t, \dots)] dP_D(d) \quad (\text{equazione 1})$$

dove E[.] indica il valore atteso e P_D è la distribuzione di probabilità cumulata (cdf) del danno d. Siccome d dipende dalle caratteristiche dell'evento alluvionale, ai fini della stima del rischio è necessario:

1. determinare la distribuzione di probabilità delle variabili casuali che descrivono l'evento alluvionale che interessa l'insediamento antropico da difendere (portata al colmo Q_c , durata Δt , volume W , etc.);
2. determinare la relazione che intercorre fra l'intensità dell'evento alluvionale, descritto dalle variabili casuali di cui al punto (1), e le caratteristiche dell'alluvione che determinano il danno, tipicamente il livello idrico h , la velocità della corrente v , o la spinta totale che questa esercita su persone e cose S ;
3. calcolare il danno d in funzione delle caratteristiche del deflusso, come il livello idrico h , ossia la funzione $d[h(Q_c, W, \Delta t, \dots), v(Q_c, W, \Delta t, \dots), S(Q_c, W, \Delta t, \dots)]$, e della probabilità o tempo di ritorno degli eventi alluvionali, ossia la funzione di ripartizione $P_D(d)$.

L'equazione (1), assieme ai modelli di differente natura che essa racchiude, definisce pertanto il framework matematico più generale per la valutazione delle condizioni di rischio in condizioni naturali (ante-opera) e per la determinazione degli interventi di mitigazione. La stima delle variabili idrologiche/idrauliche che misurano la pericolosità degli eventi naturali si basa su modelli che forniscono stime intrinsecamente caratterizzate da una componente d'incertezza (Apel *et al.*, 2004). Questa incertezza dipende essenzialmente dalla variabilità casuale dei processi naturali, ma anche dalla carenza di conoscenze sui processi fisici che governano i fenomeni, che porta a rappresentare tali fenomeni attraverso modelli parametrici e di tipo concettuale. Oggi sono disponibili modelli con ogni grado di complessità, ma il miglioramento delle previsioni dipende fortemente dalla ricchezza e dalla bontà delle osservazioni idrometriche, dall'accurata conoscenza delle forzanti meteorologiche (e.g. precipitazione); aumentando il numero delle osservazioni di buona qualità, e più in generale lo stato delle conoscenze, è possibile migliorare la conoscenza degli eventi attesi con assegnata probabilità.

3.5. Metodologie di valutazione della pericolosità da frana

Paola Molin

L'analisi del rischio da frana si basa sull'analisi della pericolosità, che comprende l'identificazione e caratterizzazione delle frane potenziali insieme alla valutazione dei loro tempi di ritorno. L'analisi della pericolosità da frana è finalizzata alla zonazione del territorio in esame con produzione di carte e relative note illustrative.

La zonazione della suscettibilità da frana comprende la classificazione, l'area o il volume (magnitudo) e la distribuzione spaziale delle frane esistenti e potenziali all'interno di un'area di studio. La zonazione della pericolosità

deriva dagli esiti della zonazione della suscettibilità da frana, ma introduce la stima della frequenza (in termini di probabilità annuale) di accadimento dei processi individuati. È da tenere presente che essendo i fattori predisponenti diversi a seconda del tipo di movimento di versante, è necessaria la produzione di carte della suscettibilità e della pericolosità riguardanti singole tipologie di frana.

Per effettuare la zonazione del territorio in esame è necessario effettuare un inventario dei fenomeni franosi attraverso il rilevamento geomorfologico e l'accesso a banche-dati e, quindi, le carte di suscettibilità e pericolosità. In particolare, le metodologie fondamentali comprendono:

- il rilevamento geomorfologico, per la produzione di cartografia (elaborata attraverso un software GIS) che rappresenti l'ubicazione dei processi di massa attivi o quiescenti;
- l'interpretazione aerofotogeologica come supporto all'indagine di terreno nell'identificazione dei fenomeni; l'analisi deve essere anche multitemporale al fine di valutare l'evoluzione del versante interessato da frane nel più esteso arco temporale possibile (in genere dagli anni '50);
- l'analisi morfometrica (attraverso software GIS), al fine di identificare la relazione tra l'acclività del versante e la presenza di frane entro unità litologiche omogenee e quindi stimare le soglie clivometriche per ogni tipo di fenomeno;
- l'analisi delle banche dati (progetto AVI GNDICI-CNR; Progetto IFFI-ISPRA), della cartografia geomorfologica già esistente e della bibliografia, mirata non solo al completamento della cartografia, ma anche alla stima dei tempi di ritorno dei fenomeni.

Le attività elencate permettono di censire i movimenti di versante presenti nel territorio in esame e di produrre una mappa semplificata della zonazione della pericolosità da frana. Tale elaborazione viene eseguita utilizzando un software GIS che permette anche la strutturazione della banca dati relativa ai fenomeni presenti nell'area di esame. Tale banca dati include tutte le informazioni raccolte attraverso le varie metodologie.

Uno studio più dettagliato comporta l'effettuazione di step successivi di approfondimento che mirano a dare le basi per la valutazione del rischio da frana (Fell *et al.*, 2008):

1. **Rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio.** Tale attività permette di acquisire una conoscenza della storia geologica del territorio comunale e dei processi superficiali in atto con particolare riguardo all'instabilità di versante. L'indagine di terreno permette di completare l'inventario delle frane già effettuato nella fase di indagine preliminare. Inoltre, fornisce gran parte dei dati necessari per elaborare una carta della suscettibilità da frana.

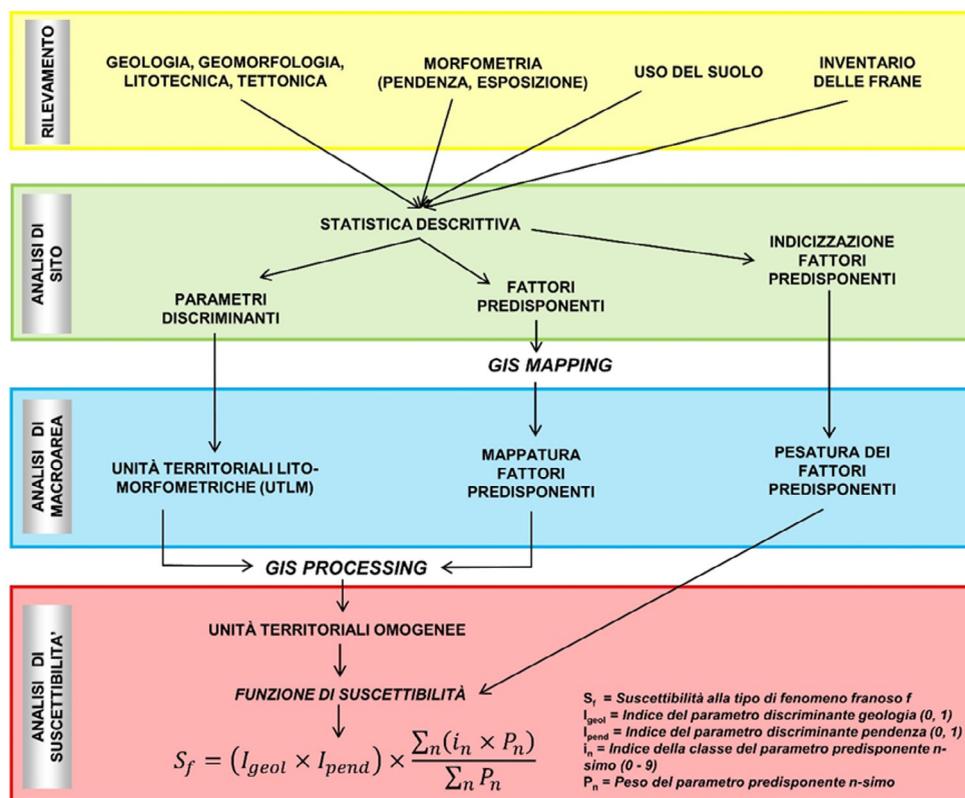


Fig. 1
Diagramma relativo alla procedura per determinare la suscettibilità da frana ed elaborare la relativa cartografia (modificato da Leoni *et al.*, 2010).

2. **Elaborazione di una carta della suscettibilità da frana.** Per l'applicazione della metodologia ENEA (Puglisi *et al.*, 2013 e bibliografia allegata) per la produzione della carta della suscettibilità da frana (Fig. 1), ai risultati dell'attività di terreno vanno aggiunti dati reperibili dalla cartografia topografica e geologica di dettaglio (1:10000/1:5000), da Modelli Digitali dell'Elevazione (DEM) con risoluzioni possibilmente elevate, da carte idrogeologiche e da carte dell'uso del suolo. Tutti questi dati permettono la definizione dei fattori discriminanti (pendenza del versante e natura del materiale coinvolto) e predisponenti (condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, litotecniche, morfometriche, antropiche e di uso del suolo) delle frane e l'elaborazione della carta della suscettibilità da frana.
3. **Produzione di una carta della pericolosità da frana.** Sulla base della carta della suscettibilità prodotta, introducendo una stima della frequenza (tempi di ritorno) delle frane presenti nel territorio comunale e della loro intensità (espressa in termini di volume coinvolto e/o velocità del fenomeno o, se possibile, in termini di energia cinetica) è possibile elaborare una carta della zonazione della pericolosità da frana. Questa rappresenta, insieme alla vulnerabilità, la base per la stima del rischio e l'eventuale produzione di una carta della zonazione del rischio.
4. **Caratterizzazione geotecnica dei materiali coinvolti nei fenomeni di instabilità.** Attraverso indagini geotecniche in situ e in laboratorio dei materiali che costituiscono il versante è possibile stimare i parametri geotecnici necessari per l'analisi di stabilità del versante e per il calcolo del fattore di sicurezza.
5. **Monitoraggio.** I fenomeni che rappresentano un rischio, oltre che una pericolosità, devono essere monitorati al fine di valutare la frequenza delle riattivazioni e produrre database che possano essere impiegati in processi di valutazione più avanzati e raffinati. In alcuni casi specifici di rischio elevato, il monitoraggio continuo potrebbe rappresentare la base per l'istituzione di sistemi di allarme.
6. **Realizzazione di una carta della zonazione del rischio da frana.** In questa fase di analisi andrebbero intraprese anche azioni di mitigazione del rischio agendo sia sulle pericolosità sia, se possibile, sugli elementi esposti. Per quanto riguarda le pericolosità sono possibili vari tipi di interventi per ridurre le forze agenti e/o aumentare le forze resistenti presenti sul versante. Gli interventi sono diversi in base al fenomeno da mitigare.

Tabella 1

Sintesi dei dati e delle attività necessarie per la zonazione della suscettibilità, della pericolosità e del rischio da frana.

Livello di conoscenza / approfondimento	Dati necessari	Analisi che si possono condurre	Prodotti
studio dettagliato dell'instabilità di versante e zonazione della pericolosità da frana	Cartografia topografica di dettaglio DEM (modelli digitali dell'elevazione) Banche dati e archivi Carte geomorfologiche di base e derivate (carte delle frane) Strumentazione per il monitoraggio	Rilevamento di terreno Aggiornamento del censimento delle frane Analisi morfometrica della topografia dei versanti attraverso l'utilizzo di DEM in ambiente GIS Monitoraggio topografico mediante stazione totale, GPS, laser scanner per misurare gli spostamenti di aree dissestate Estensimetri e Fessurimetri (in superficie) per controllare l'apertura di fratture preesistenti Inclinatori (in foro) per rilevare le variazioni locali dell'inclinazione in corrispondenza di superfici di scorrimento Piezometri (in foro) per controllare le variazioni di livello delle falde acquifere presenti Indagini geotecniche per la caratterizzazione/caratterizzazione dei materiali	Carta geologica e carta geomorfologica e/o carte delle instabilità di versante di dettaglio Inventario dei fenomeni franosi Carta della suscettibilità da frana e relativa relazione Carta della pericolosità da frana Data base dei dati derivanti dal monitoraggio Data base dei dati riguardanti la classificazione geotecnica dei terreni Carta della zonazione del rischio da frana

3.6. Metodologie di valutazione della pericolosità da radon

Paola Tuccimei, Michele Soligo

La prevenzione del rischio legato al rilascio di gas dal suolo prevede la stima della pericolosità di un sito legata alla sua natura geologica e ai materiali utilizzati per costruire gli edifici. Questo obiettivo si raggiunge attraverso il monitoraggio geochimico e la mappatura delle concentrazioni dei gas (radon, CO₂, H₂S, CH₄) nel suolo, delle misure di flusso, della permeabilità del terreno ai gas e della radioattività gamma. Le attività di acquisizione dati riguardano pertanto:

- la misura della concentrazione di gas nel suolo (radon, CO₂, H₂S e CH₄), del flusso di CO₂ dal suolo, della permeabilità ai gas, al fine di realizzare delle mappe di pericolosità per l'identificazione preliminare delle aree dove potrebbero essere rilasciati e, in particolari condizioni, accumularsi gas in concentrazioni nocive; si utilizzano radonometri, sensori specifici per gas (a infrarossi o celle elettrochimiche) e permeametri;
- la misura della radioattività ambientale tramite spettrometro gamma in ambiente outdoor per il calcolo dell'esposizione alla radioattività naturale, che utilizza scintillatori a ioduro di sodio e bromuro di lantanio;
- la misura della concentrazione di gas (radon e CO₂) in ambiente indoor e della radioattività gamma indoor con lo scopo di individuare gli edifici a rischio e progettare interventi di abbattimento dei gas nocivi; le misure si effettuano con radonometri, sensori specifici per gas e dosimetri;
- la misura dei tassi di esalazione di radon dai materiali da costruzione al fine di riconoscere e classificare quelli potenzialmente più pericolosi, con l'intento di proporre tecniche di "bonifica"; si usa il radonometro collegato ad una camera di accumulo.

Per qualsiasi studio di prevenzione e mitigazione dei rischi naturali (rischi geologici) è imprescindibile la conoscenza delle caratteristiche geologiche del territorio. Per questo motivo, ciascun comune deve avere una buona conoscenza delle caratteristiche fisiche del proprio territorio. Ogni comune potrà avere questa piena conoscenza **attraverso la realizzazione di una cartografia geologica di base alla scala 1:10.000 (o maggiore)**. Partendo da questa cartografia di base, e attraverso ulteriori approfondimenti, si possono derivare una serie di carte tematiche necessarie per affrontare i diversi studi di pericolosità in connessione con eventi naturali estremi (p. es., carta litotecnica; carta delle MOPS; carta geomorfologica, etc., carta della pericolosità da radon).

3.6.1. La geologia del radon: dalle rocce al rischio

Il radon è un gas nobile, radioattivo e radiogenico, presente nell'ambiente naturale (rocce, sedimenti, suoli, acqua, atmosfera). Esistono tre isotopi principali del radon, il ²²²Rn (detto semplicemente radon), il ²²⁰Rn (conosciuto anche come Toron) e il ²¹⁹Rn (detto Actinon), appartenenti, rispettivamente, alle famiglie radioattive aventi come capostipiti ²³⁸U, ²³²Th e ²³⁵U (Bourdon *et al.*, 2003). Il ²²²Rn (di seguito indicato semplicemente come radon) è l'isotopo caratterizzato dal tempo di dimezzamento più lungo (3.82 giorni) ed è quindi quello con una maggiore abbondanza e permanenza nell'ambiente. Gli altri due hanno tempi di dimezzamento molto inferiori (dell'ordine di poche decine di secondi) e contribuiscono limitatamente alla concentrazione totale di questo gas in ambiente indoor. Le principali sorgenti del radon sono, nell'ordine: il sottosuolo, i materiali da costruzione e l'acqua utilizzata a fini domestici. Il substrato geologico gioca però il ruolo principale nei processi di potenziale apporto del radon negli edifici. La natura delle rocce, la loro composizione mineralogica, la concentrazione degli elementi precursori (Uranio, Torio e Radio), la porosità, la permeabilità, il contenuto d'acqua, la presenza di fratture, faglie o cavità, sono gli elementi che più condizionano la concentrazione del radon nel sottosuolo e il suo trasporto attraverso le fondazioni. Non tutto il radon prodotto in un suolo o in una roccia per decadimento del radio è disponibile per il passaggio nell'aria, ma soltanto una parte di esso si libera nei pori (processo d'emanazione), può migrare nel terreno e quindi concentrarsi negli ambienti confinati. La presenza d'acqua nei pori influenza fortemente il movimento del radon nel suolo, ma il parametro che meglio regola il trasporto e l'esalazione è la permeabilità. Com'è noto, quest'ultima può essere distinta in permeabilità primaria, dovuta alle caratteristiche intrinseche di vacuolarità dei terreni (dipendenti dalla densità, dalla porosità interconnessa e dalla granulometria) oppure secondaria (legata alla presenza di fratture e discontinuità strutturali). La carsificazione di una roccia può, inoltre, aumentare la permeabilità generale dell'ammasso roccioso e influenzare l'accumulo e la migrazione del radon nel sottosuolo. In presenza di fratture, faglie e discontinuità, il flusso di radon non ha soltanto una componente diffusiva (legata al gradiente di concentrazione del gas in un breve intorno del punto di misura), ma si esplica soprattutto attraverso un trasporto di tipo avvevativo (dovuto ai gradienti della pressione dei fluidi nei pori: H₂O, CO₂, CH₄, Richon *et al.*, 2011); in quest'ultimo caso, il radon, proveniente da aree più profonde, risale con maggiore velocità verso la superficie insieme con altri fluidi che agiscono da carrier, cioè da convogli gassosi trasportatori.

La valutazione del rischio radon, attraverso la conoscenza degli elementi di pericolo esistenti nell'area in esame, consente la predisposizione di strumenti urbanistici idonei ad assicurare la tutela della salute pubblica e l'incolumità delle persone e dei beni presenti.

A questo scopo, studi più approfonditi si rendono necessari per le trasformazioni urbanistiche nelle aree classificate a rischio potenziale³. Cambia quindi la scala dello studio, ma anche le finalità per cui le indagini e la mappatura sono condotte (Castelluccio, 2010; Castelluccio *et al.*, 2010). Questi studi hanno l'obiettivo di ricavare l'Indice radon (RI), parametro che definisce il livello di rischio locale connesso alle emanazioni di radon. Esso si ottiene da misure strumentali della concentrazione del radon nel suolo e della permeabilità intrinseca del terreno, effettuate ad almeno 80 cm di profondità (Tab. 1 e Tab. 3 Castelluccio *et al.*, 2012).

Tabella 1

Misura della concentrazione di radon nel suolo (soil radon. RnS, kBq/m³).

Measurement depth	≥ 80 cm
Measurement density under the building-covered area	<ul style="list-style-type: none"> - 25 x 25 meters regular grid - at least 3 spots in case of only one building - at least 2 spots for each building, in case of more than one building
Measurement density in the building site, where no edifice is planned	<ul style="list-style-type: none"> - 2 spots for area when it is ≤ 100 m² - 3 spots for area when: 100 < area < 10,000 m² - 4 spots / ha for area when its is ≥ 10,000 m²
Probe	Drill holes diameter must be as large as that of the probe, to prevent the entry of atmospheric air and underestimation of soil radon.
Measurement method	Alpha Spectrometry, Lucas cells, ionization chambers ecc. Periodic validation through intercomparison exercises in a test-site is recommended.

Utilizzando il valore della permeabilità intrinseca (Castelluccio *et al.*, 2012), si determina il potenziale radon (PR) con la formula indicata nella Tabella 2 (Castelluccio *et al.*, 2012). La Tabella 2 indica anche la corrispondenza tra potenziale radon (PR) e indice radon (RI).

Tabella 2

Misura della permeabilità intrinseca del suolo (k, m²).

Direct measurement of permeability (k)	$RP = (Rn_s - 1) / (-\log k - 10)$
Correspondence between risk classes	$RP < 10 \rightarrow RI: \text{low}$ $10 \leq RP \leq 35 \rightarrow RI: \text{medium}$ $RP > 35 \rightarrow RI: \text{high}$

Tabella 3

Procedura per la determinazione degli indici RP e RI (after Neznal *et al.*, 2004).

Direct	High level of detail
Estimated	Lower level of detail
Measurements depth	≥ 80 cm
Measurements density	Measurements performed in the same spots of soil radon
Direct Method	Measuring the time required for aspiration of a known air volume, under the action of a known difference pressure

³ Ad esempio, nelle aree che - in base alle procedure del protocollo esito di questa ricerca - risultino a rischio potenziale dopo le prime valutazioni del rischio multi-hazard.

Alternativamente la permeabilità intrinseca può essere stimata:

- a) nel caso di suolo o terreno incoerente, tramite curva granulometrica, considerando ad esempio la percentuale in peso della frazione fine, f (< 0.063 mm), secondo il seguente schema di corrispondenza (Barnet *et al.*, 2008):
 - $f < 15\% \rightarrow$ permeabilità alta
 - $15\% \leq f \leq 65\% \rightarrow$ permeabilità media
 - $f > 65\% \rightarrow$ permeabilità bassa
- b) nel caso di substrato roccioso, tramite fonti bibliografiche che riportano gli intervalli di variazione della permeabilità intrinseca dei principali complessi rocciosi, in funzione delle caratteristiche litologiche e granulometriche e dello stato di fratturazione e/o carsificazione. In questo caso l'indice radon (RI) è ricavato utilizzando la Tabella 4, attraverso la comparazione del valore della permeabilità intrinseca stimata (classe bassa, media o alta corrispondente) con il valore della misura di soil radon. Le Tabelle 2 e 4 riassumono quindi la procedura proposta per la determinazione del potenziale radon (PR) e dell'indice radon (RI) di un lotto di terreno su cui è prevista l'edificazione, in funzione dei quali sono indicati gli accorgimenti tecnici da adottare a protezione dell'edificio (Jiranek, 2010) ed altre opere d'urbanizzazione nelle aree limitrofe.

Per comprendere meglio il significato degli indici PR e RI si riporta il seguente esempio. Con un valore di Soil radon di 25 kBq/m^3 (ottenuto in corrispondenza del 75esimo percentile della distribuzione cumulativa di tutti i dati della mappatura) e una permeabilità intrinseca di $6 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ (ottenuta seguendo lo stesso approccio statico), applicando la formula riportata nella Tabella 3, si ottiene un valore di PR uguale a 20, pari ad una classe di rischio (RI) medio. Se avessimo avuto a disposizione solo una stima della permeabilità, avremmo dedotto il valore di RI dalla Tabella 4 (Castelluccio *et al.*, 2012), scegliendo tra i valori corrispondenti alla colonna della permeabilità alta ($> 4 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$), la casella con il valore di soil radon misurato (in questo caso quella intermedia, con valori di soil radon tra 10 e 30 kBq/m^3), alla quale corrisponde la classe di RI medio. Per questo livello di rischio è consigliato isolare l'edificio dal terreno sottostante mediante membrane impermeabili al radon e di lasciare nell'immediato intorno dell'edificio suoli permeabili ed areati. È bene specificare che i valori di soil radon e della permeabilità intrinseca sono influenzati dalla fluttuazione stagionale dei parametri meteo-climatici, vale a dire dalla variazione del contenuto d'acqua e della temperatura del suolo. Quest'aspetto sarà approfondito nei prossimi paragrafi.

RI	Soil Radon concentration (kBq/m^3)			Building protection (Jiranek, 2010)	Other in infrastructure works
	$^{222}\text{Rn} < 30$	$^{222}\text{Rn} < 20$	$^{222}\text{Rn} < 10$		
Low	$^{222}\text{Rn} < 30$	$^{222}\text{Rn} < 20$	$^{222}\text{Rn} < 10$	None	No special precautions
Medium	$30 \leq ^{222}\text{Rn} \leq 100$	$20 \leq ^{222}\text{Rn} \leq 70$	$10 \leq ^{222}\text{Rn} \leq 30$	Membrane impervious to Radon	Avoid sealing the soil around the building, preferring permeable covers
High	$^{222}\text{Rn} > 100$	$^{222}\text{Rn} > 70$	$^{222}\text{Rn} > 30$	Membrane + depressurization or ventilation of the crawl space (*)	Ensure the presence of fan. No cover around the building.
	$< 4 \cdot 10^{-13}$	$4 \cdot 10^{-13} \leq k \leq 4 \cdot 10^{-12}$	$> 4 \cdot 10^{-12}$		
	Low	Medium	High		
Permeability (k, m^2)					

Tabella 4

Determinazione dell'indice RI in funzione del soil radon e della permeabilità intrinseca (quando si dispone di un valore stimato e non di una misura diretta). Sono indicate anche le precauzioni per la protezione dell'edificio ed altre opere d'urbanizzazione.

(*) In the case of high RI, annual monitoring of indoor radon concentration is recommended.

3.6.2. Applicazioni degli indici radon ad un caso studio

Il metodo di valutazione della pericolosità da radon, basato sull'utilizzo degli indici PR e RI (Neznal *et al.*, 2004), è stato applicato nel Comune di Civitavecchia. Nel sito prescelto non era previsto un intervento di pianificazione territoriale a scopo edilizio e quindi l'area è stata utilizzata come esempio di applicazione della metodica e per evidenziarne pregi, limiti e potenzialità. Non essendo presente un'area di sedime (porzione di suolo su cui insiste un manufatto edilizio), la densità e la distribuzione dei punti di misura non hanno seguito le indicazioni del protocollo proposto, ma si è scelto di operare con una maglia regolare di 30 x 30 metri. I risultati di un monitoraggio effettuato in primavera (mese di aprile) nel Parco della Resistenza (Civitavecchia, Roma) sono riportati nella Tabella 5 (Castelluccio *et al.*, 2012).

Tabella 5

Monitoraggio primaverile e classificazione del rischio radon nel sito-pilota del Parco della Resistenza (Civitavecchia, Roma), applicando gli indici RP e RI proposti in questa nota e secondo il metodo SSI (Swedish Radiation Protection Authority). L'approccio della SSI utilizza soltanto il livello di radon nel suolo per definire il livello di rischio di una data area.

Spot	April 2010					
	Rn ± Error (kBq/m ³)		Risk level (SSI)	k (m ²)	RP	RI
R1	58.05	2.13	high	1.7E-12	32	medium
R2	34.05	1.89	normal	2.1E-11	49	high
R3	17.75	0.98	normal	5.2E-14	5	low
R4	4.95	0.89	low	5.2E-14	1	low
R5	31.50	1.26	normal	1.6E-12	17	medium
R6	31.50	2.04	normal	5.2E-14	9	low
R7	34.65	6.53	normal	5.2E-14	10	medium
R8	28.50	2.01	normal	5.2E-14	8	low
R9	40.40	2.02	normal	5.2E-14	12	medium
R10	47.35	1.49	normal	3.1E-13	18	medium
R11	37.20	1.26	normal	3.6E-13	15	medium
R12	29.60	1.33	normal	2.6E-11	49	high
R13	55.75	1.80	high	4.6E-13	23	medium
R14	34.90	1.26	normal	1.9E-12	20	medium
R15	43.35	1.39	normal	1.1E-13	14	medium
R16	17.75	0.88	normal	4.1E-12	12	medium
R17	45.30	1.36	normal	2.2E-11	68	high
R18	31.60	1.35	normal	1.8E-12	18	medium
R19	6.47	0.61	low	2.9E-11	10	medium
R20	51.40	1.57	high	5.3E-13	22	medium

Il Parco della Resistenza è una piccola area verde all'interno dell'abitato di Civitavecchia. L'area, grossomodo rettangolare, ha un'estensione di circa 11200 m², ed è stata coperta da 20 punti di misura. Il substrato geologico è di natura flyschoidale, costituito da alternanze di argille e arenarie calcaree, estesamente presenti in tutto il territorio di Civitavecchia.

Nella Tabella 5 sono riportati i valori di concentrazione di radon nel suolo, la permeabilità intrinseca del terreno (k) e gli indici RP e RI. Utilizzando il metodo del terzo quartile (Neznal *et alii*, 2004), che restituisce un valore unico di RP per ogni campagna di misura, è stato ottenuto il valore di 27 per il Parco della Resistenza (con un valore corrispondente di RI, medio). Allo scopo di valutare l'efficacia degli indici RP e RI per lo studio del territorio in termini di pericolosità da radon, si utilizza come confronto la classificazione proposta dalla Swedish Radiation Protection Authority (SSI), che si basa esclusivamente sulla concentrazione di radon nel suolo, secondo le seguenti corrispondenze: < 10 kBq/m³, "low risk areas"; 10-50 kBq/m³, "normal risk" areas; > 50 kBq/m³, "high risk" areas (Dubois, 2005). Il valore medio del soil radon risulta pari a circa 44 kBq/m³

nel sito del Parco della Resistenza (normal risk level). I due metodi forniscono risultati concordanti per quanto riguarda la classificazione complessiva del sito. Analizzando singolarmente i risultati però, si osserva che l'introduzione della permeabilità intrinseca del suolo permette di collocare un punto in una diversa classe di pericolosità, e questo accade soprattutto quando il valore di soil radon è vicino al limite di classe secondo la classificazione SSI (si vedano come esempio i valori dei punti R1, R3, R13, R17, R19, Tabella 5). L'utilizzo degli indici RP e RI permette di definire più efficacemente il livello di pericolosità da radon di una porzione di territorio poiché è presa in considerazione la quantità di gas presente nel suolo in relazione alla sua capacità di movimento, descritta dal parametro permeabilità intrinseca (Nezmal & Nezmal, 2005). Inoltre, va sottolineato che l'utilizzo degli indici RP e RI riduce l'effetto della variabilità stagionale sui valori ottenuti, rispetto a quanto riscontrato singolarmente sul parametro soil radon nel metodo SSI. Le mappature del soil radon e della permeabilità intrinseca sulla base dei quali è stato definito il rischio radon per il Parco della Resistenza a Civitavecchia sono riportate in figura 1.

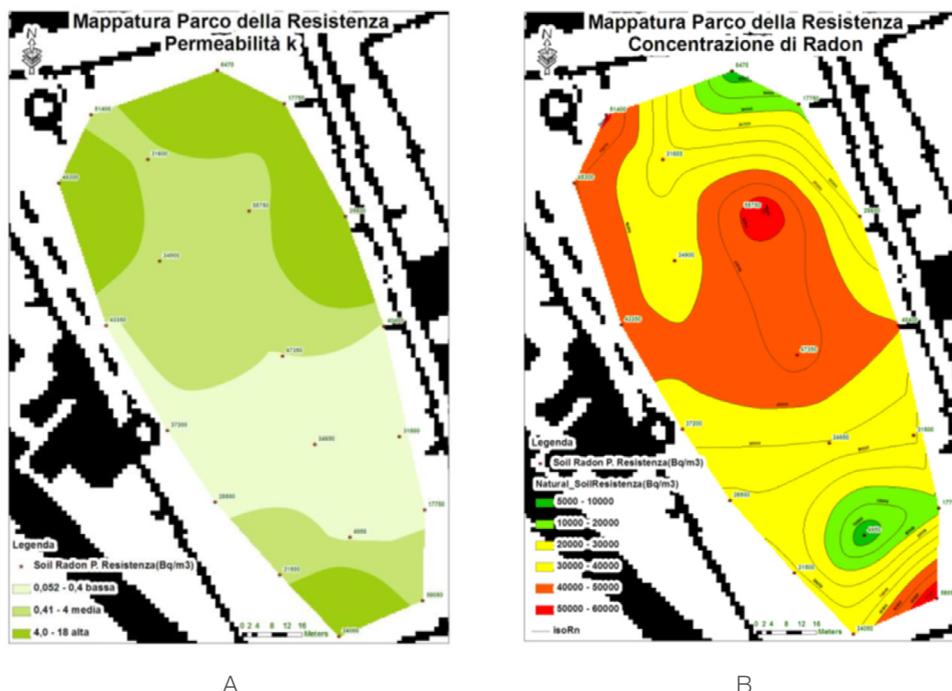


Fig. 1
Mappature Parco della Resistenza:
A) mappatura di soil radon;
B) mappatura di permeabilità (Petrullo, 2010).

3.6.3. L'importanza del monitoraggio per correggere l'effetto stagionale

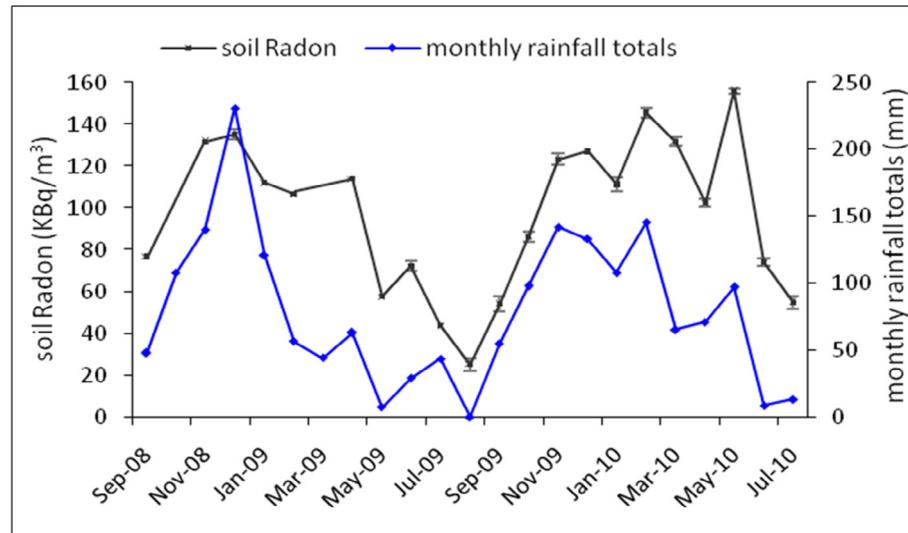
Come detto, le concentrazioni di radon nel terreno subiscono variazioni consistenti nel corso dell'anno in relazione ad alcuni parametri atmosferici e, di conseguenza, alle condizioni fisiche del suolo (contenuto d'acqua e temperatura), che incidono a loro volta sul grado di compattazione e quindi sulla permeabilità intrinseca del terreno (Castelluccio, 2010). È pertanto evidente che l'entità della variazione temporale del soil radon è funzione della velocità e del grado con cui mutano i parametri d'influenza. La variabilità del soil radon può essere significativa su un intervallo di pochi giorni (Schubert & Schulz, 2002), ma è generalmente considerevole a scala stagionale (Castelluccio, 2010; Winkler *et al.*, 2001). In questo senso acquista un'importanza rilevante l'entità e la distribuzione delle precipitazioni, che hanno un effetto diretto sul contenuto d'acqua nel suolo. Questo parametro diviene il principale fattore di controllo della variabilità stagionale del soil radon, in particolare quando prevale un meccanismo di trasporto del gas di tipo diffusivo, quando cioè il radon rilevato ha origine nell'immediato intorno del punto di misura (Castelluccio, 2010; Richon *et al.*, 2011). Il contenuto d'acqua nel suolo influenza il soil radon agendo a scala microscopica sul coefficiente d'emanazione del radon (correlazione diretta, Menetrez & Mosley, 1996) e a scala macroscopica sulle condizioni di permeabilità intrinseca del suolo superficiale (Johner & Surbeck, 2001). La presenza di uno strato superficiale con contenuto d'acqua prossimo al livello di saturazione riduce il flusso di radon all'interfaccia suolo-atmosfera, favorendo l'accumulo del gas all'interno del sistema (Wiegand, 2001).

Da queste considerazioni è evidente l'utilità di eseguire monitoraggi di soil radon, permeabilità intrinseca del suolo e variabili d'influenza, in punti di misura fissi, ripetendo i rilievi a cadenza regolare. Come esempio

sono riportati i risultati del monitoraggio mensile effettuato nella Valle della Caffarella (Castelluccio, 2010), nel periodo 2008–2010 (Fig. 2, Castelluccio *et al.*, 2012). È stato riscontrato un caratteristico andamento stagionale del soil radon, con i valori più alti nei mesi invernali, quando le precipitazioni sono più abbondanti, le basse temperature riducono l'evaporazione e il terreno resta umido per lunghi periodi (Fig. 2); condizioni opposte si stabiliscono durante la stagione estiva, con conseguenti basse concentrazioni di soil radon.

Fig. 2

Fluttuazioni delle concentrazioni di radon nel suolo, in relazione alle precipitazioni totali mensili dal settembre 2008 al luglio 2010 nella Valle della Caffarella (Roma).



In ambito applicativo è difficile realizzare un monitoraggio annuale del soil radon, per evidenti motivi legati a costi e tempi di realizzazione. Diventa quindi importante “integrare” opportunamente il protocollo proposto, per ottenere indici di rischio idonei, non influenzati troppo dalla variabilità stagionale. L'utilizzo dell'indice RP riduce la variabilità stagionale del soil radon perché la riduzione delle concentrazioni estive è parzialmente controbilanciata da un aumento della permeabilità intrinseca e quindi da una migliore attitudine del terreno a trasmettere il radon e a favorire il suo trasferimento in ambiente indoor (Nezmal *et al.*, 2004); pur tuttavia le misure estive tendono ancora a sottostimare i valori di RP. Basandoci sui dati acquisiti nel monitoraggio a lungo-termine alla valle della Caffarella (Roma) (Castelluccio, 2010) è stato quindi introdotto un fattore di correzione, dedotto su basi empiriche dal rapporto tra il valore medio di RP calcolato per i mesi invernali e quelli ottenuti nelle altre stagioni (vedi ad esempio Tabella 5). Si suggerisce di moltiplicare per un fattore 2 i valori di RP ottenuti per le misure effettuate nei mesi di luglio e agosto e per un fattore 1.5, i valori di RP associati ai mesi di giugno e settembre. Nessuna correzione è indicata per i valori invernali e primaverili di RP. Lo spirito di quest'approccio è, infatti, principalmente cautelativo e mira principalmente ad evitare la sottostima del livello di pericolosità.

3.6.4. La classificazione dei materiali da costruzione

Come detto in precedenza, la seconda sorgente di radon indoor sono i materiali da costruzione. Il contributo che essi apportano alle concentrazioni di radon indoor può essere notevole per i materiali con elevate concentrazioni di elementi precursori, come ²²⁶Ra e ²³²Th.

A questo riguardo, Tuccimei *et al.* (2009) proposero una classificazione basata sui tassi di esalazione di ²²²Rn e ²²⁰Rn. Per essere più precisi, furono proposte due classificazioni denominate RTE (radon and Thoron Exhalation) e CIR (Contribution to Indoor radon).

La classificazione RTE fa riferimento ad una stanza modello (model room) di 56 m³ (Tuccimei *et al.*, 2009) e ai tassi di esalazione di ²²²Rn e ²²⁰Rn di un materiale da costruzione che rivesta completamente la stanza (Tabella 6). Un codice alfa-numerico definisce i limiti tra classi di esalazione, con lettere da A a E per il ²²²Rn e numeri da 1 a 5 per il ²²⁰Rn. I limiti tra classi sono scelti in funzione dei tassi necessari per raggiungere determinate concentrazioni di attività per i due isotopi nella stanza modello.

La classificazione CIR tiene conto del contributo di radon totale (somma di ²²²Rn e ²²⁰Rn) nella model room apportato da un materiale da costruzione (Tabella 6). La metodologia per la determinazione dei tassi di esalazione è descritta in Tuccimei *et al.* (2009) e Lucchetti *et al.* (2019).

CIR CLASSIFICATION		CIR	RTE CLASSIFICATION					
Total Rn (Bq m ⁻³) from	to		C _{EQ} 222 (Bq m ⁻³)	E 222 (Bq m ⁻² h ⁻¹)	ER 222	C _{EQ} 220 (Bq m ⁻³)	E 220 (Bq m ⁻² h ⁻¹)	ER 220
≥	1000	I	≥ 1000	≥ 8.14	A	≥ 1000	≥ 48116	1
500	999	II	500-999	4.07 - 8.13	B	500-999	24058 - 48115	2
300	499	III	300-499	2.44 - 4.06	C	300-499	14435 - 24057	3
100	299	IV	100-299	0.81 - 2.43	D	100-299	4812 - 14434	4
<	100	V	< 100	< 0.81	E	< 100	< 4812	5

Tabella 6

Proposta di classificazione dei materiali da costruzione. ER 222 e ER 220 sono attribuiti nella classificazione RTE ai materiali sulla base dei loro tassi di esalazione. Nella classificazione CIR si calcola il contenuto di radon totale nella model room apportato da un materiale da costruzione (si rimanda al testo per una spiegazione più dettagliata).

3.7. Metodologie di valutazione della pericolosità vulcanica

Valerio Acocella

Oltre all'attività eruttiva, le aree vulcaniche attive, durante la fase preeruttiva, sono caratterizzate da sismicità ed emanazione di gas, cui possono associarsi deformazioni del suolo e franosità.

L'approccio da utilizzare per la valutazione del rischio derivante da sismicità vulcanica, nelle aree degli edifici vulcanici, ricalca quello da utilizzare per la valutazione del rischio sismico, dove la sismicità si origina al di fuori delle aree vulcaniche. Tale valutazione si basa quindi su tecniche di microzonazione sismica e di stima della vulnerabilità di edifici ed altri manufatti, che dipendono dalle caratteristiche litologiche dei terreni, dalla morfologia dell'area e dalle caratteristiche costruttive del manufatto.

L'analisi della pericolosità vulcanica è quindi finalizzata a:

- l'identificazione delle aree interessate dalla presenza di prodotti provenienti da vulcani attivi e quiescenti (attivi negli ultimi 10.000 anni), così come desumibile dalla cartografia tematica (geologica) disponibile, preferibilmente in scala $\geq 1:25.000$;
- l'identificazione, anche attraverso cartografia tematica disponibile, e il censimento delle zone di emanazione gassose e/o idrotermali;
- l'identificazione delle aree soggette a sismicità locale di origine vulcanica, anche mediamente elevata ($M \leq 5$).

Per una corretta valutazione della pericolosità vulcanica e per la prevenzione/mitigazione degli effetti del verificarsi di un evento eruttivo, il monitoraggio dei vulcani attivi è fondamentale. In Italia, l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) effettua il monitoraggio continuo dei parametri significativi.

In tale ambito, sono fondamentali le seguenti azioni:

- riconoscimento dello stato del vulcano (quiescenza, attività pre-eruttiva, o stato di unrest, attività da eruzione imminente), attraverso lo studio dei dati di monitoraggio disponibili in rete INGV e collaborazioni con ricercatori responsabili di tale monitoraggio;
- messa a punto di modelli numerici e/o sperimentali ad hoc, al fine di valutare le specifiche condizioni che possono meglio vincolare l'attività eruttiva di un vulcano sulla base dei dati disponibili;
- identificazione e censimento delle zone di emanazione gassose e/o idrotermali attraverso la cartografia geologica disponibile e il rilevamento di terreno;
- produzione di carte di pericolosità relative ad aspetti specifici dell'attività vulcanica.

In tale ambito è necessario distinguere tra:

- a) aree non vulcaniche (esterne all'edificio vulcanico);
- b) aree vulcaniche (che comprendono gli edifici vulcanici).

Per quanto riguarda le aree non vulcaniche laziali (caso a), la pericolosità vulcanica è bassa, legata all'attuale inattività eruttiva dei vulcani. Per quanto riguarda le aree vulcaniche laziali (caso b), la pericolosità è principalmente legata alla possibilità di manifestazioni non-eruttive (essenzialmente sismicità vulcanica e degassamento) e, in misura trascurabile, alla possibilità di attività eruttiva. Per quanto riguarda la sismicità vulcanica delle aree che ricadono nel caso b, è importante, nell'ambito di una valutazione speditiva, definire il volume sismogenetico nell'area vulcanica, che include l'ubicazione (lat., long., profondità) dei terremoti all'interno dell'edificio vulcanico, e la loro magnitudo. Generalmente la sismicità vulcanica è modesta ($magnitudo < 5$) e si presenta in sciame della durata di settimane-mesi a profondità di pochissimi km (meno di 10 km, e in genere circa 5 km). Sulla base della distribuzione e caratteristiche della sismicità attesa è possibile definire il valore esposto e la vulnerabilità degli oggetti esposti.

Per valutazioni più approfondite, l'approccio da utilizzare per la valutazione della pericolosità nelle aree degli edifici vulcanici laziali riprende quello utilizzato per la valutazione del rischio sismico, dove la sismicità si origina

al di fuori delle aree vulcaniche. Tale valutazione si basa quindi su tecniche di microzonazione sismica e di stima della vulnerabilità di edifici ed altri manufatti, che dipendono dalle caratteristiche litologiche dei terreni, dalla morfologia dell'area e dalle caratteristiche costruttive del manufatto.

3.7.1. Valutazione della pericolosità e vulnerabilità per il degassamento

Per quanto riguarda il degassamento, è importante individuare le aree soggette all'emissione di gas direttamente o indirettamente legati all'attività vulcanica. Tali gas includono diverse composizioni; tra queste, l'anidride carbonica (CO₂) e l'acido solforico (H₂S) risultano le più frequenti nei vulcani non attivi dell'area laziale. I gas vulcanici possono essere nocivi per la salute dell'uomo e di animali, con soglie critiche di esposizione come riportato in Tabella 1. Sulla base della distribuzione e caratteristiche del degassamento misurato è possibile definire il valore esposto e la vulnerabilità degli oggetti esposti. Nell'ambito di una valutazione speditiva, occorre riferirsi alla cartografia tematica disponibile e al censimento delle zone di emanazioni gassose e/o idrotermali. Per quanto riguarda la vulnerabilità da manifestazioni gassose, le infrastrutture più vulnerabili sono rappresentate da edifici, in prossimità delle zone in degassamento (distanza di centinaia di metri), le cui porzioni inferiori sono utilizzate per attività e sono ubicate sotto il livello del terreno, poco areate e soggette a non ottimale impermeabilizzazione, come cantine, seminterrati, garage.

Tabella 1

Massime Concentrazioni Tollerate (MCT) per i gas vulcanici.

<i>Gas</i>	<i>MCT (ppm vol.)</i>	<i>Soglia Pericolosa (vol.)</i>
CO ₂	5.000	5 %
SO ₂	5	20 ppm
H ₂ S	10	0,1 %
CO	50	0,15 %
HCl	5	50 ppm
HF	3	10 ppm

Nell'ambito di studi più approfonditi, la valutazione della pericolosità nelle aree degli edifici vulcanici laziali comporta un'analisi imperniata su un monitoraggio geochimico a cadenza generalmente mensile delle aree in degassamento, che miri a definire le specie gassose emesse e le loro concentrazioni, i loro rapporti con la permeabilità dei terreni attraversati (permeabilità legata a porosità e/o fratturazione), nonché le loro variazioni nel tempo. Congiuntamente, analisi di maggior dettaglio sulla distribuzione e caratteristiche tecniche dei manufatti (profondità degli edifici all'interno del terreno, stato e permeabilità delle fondazioni, utilizzo dei vani ubicati sotto il livello del suolo), ne stabiliranno l'esposizione e la vulnerabilità rispetto alle manifestazioni gassose.

3.8. Metodologie di valutazione dei rischi ambientali negli spazi aperti urbani: le condizioni microclimatiche estive

Lucia Martincigh con Marina Di Guida e Andrea Recine

Come accennato nei capitoli precedenti, i cittadini sono soggetti a diversi tipi di rischio, sia di origine naturale sia di origine antropica. Considerando l'ambito della ricerca in oggetto, centrato sulle strutture urbane, e in particolare sui centri storici delle Aree Interne del Lazio, sembra opportuno focalizzare l'attenzione su alcuni rischi che incidono maggiormente sulla qualità della vita delle persone che risiedono in tali centri o li frequentano. In particolare sui rischi che incidono sul benessere delle persone e ne possono inficiare la salute, in modo più o meno grave fino a portare anche alla morte, secondo la durata dell'esposizione; si tratta di fenomeni fisici o hazard connessi a rischi naturali, quali le condizioni climatiche eccezionali legate al cambiamento climatico, ma in genere anche a rischi antropici, cioè indotti dall'azione dell'uomo, dai suoi modi d'uso e comportamenti, quindi a rischi dovuti alla combinazione società-ambiente. Le ondate di calore e la siccità, per esempio, sono legate ai rischi naturali, come, in parte ma non solo, il fenomeno dell'isola di calore urbano (Urban Heat Island - UHI) e la diminuzione della risorsa idrica, mentre gli inquinamenti (acustico, atmosferico, visivo, olfattivo), l'aspetto igienico connesso allo smaltimento dei rifiuti e alla pulizia stradale, la scarsa accessibilità e sicurezza

degli spazi urbani, il traffico veicolare, pericoloso e incompatibile con lo svolgimento della vita quotidiana, sono soprattutto legati all'uso, ad aspetti culturali e sociali, nonché al governo e alla gestione della struttura urbana. Questi rischi, che sono classificati come "short-term hazard", incidono sulla qualità della vita quotidiana, fino ad arrivare a impedire l'uso e il godimento dei beni comuni urbani da parte degli utenti più deboli, e quindi contribuiscono, anche se solo in parte, all'abbandono della funzione residenziale nei centri storici. Il miglioramento del benessere ambientale, da un lato attraverso interventi di mitigazione dall'altro attraverso interventi di sensibilizzazione, potrebbe contribuire, insieme ad altri interventi funzionali ed economici, a invertire tale trend. In tal senso ci si focalizza sui rischi che sono connessi all'uso e alla fruizione degli spazi pubblici all'aperto, che sono il luogo principe della vitalità urbana.

Il primo passo per avviare un processo di prevenzione e mitigazione è la conoscenza approfondita dei termini del problema e l'appropriata definizione delle categorie/tipologie dei dati relativi ai rischi ambientali, che maggiormente possono impattare sulle persone, sul territorio e sul costruito.

Le metodologie per l'acquisizione di tali dati e gli strumenti di indagine, le metodologie di analisi e di rappresentazione, che sono finalizzate alla valutazione, sono tagliate specificatamente sul concetto di rischio e su ognuno dei rischi ambientali sopra elencati, ma l'approccio è comune. È importante quindi una breve spiegazione della metodologia di base prima di affrontarne la declinazione, più specifica, nella metodologia utilizzata per definire i rischi ambientali.

L'analisi esigenziale-prestazionale rappresenta la metodologia maggiormente utilizzata nel settore disciplinare della Tecnologia dell'Architettura per affrontare i vari step del processo progettuale, al fine di raggiungere la miglior qualità possibile del sistema costruito soddisfacendo i bisogni dell'utenza. Tale metodologia è caratterizzata da due fasi principali, una di tipo analitico e una di tipo valutativo e propositivo, in cui ai dati di tipo "oggettivo-quantitativo" si affiancano agli aspetti di tipo "soggettivo-qualitativo". La prima fase è caratterizzata da:

- l'analisi di suscettività, in cui si delineano le caratteristiche positive e negative dell'ambiente urbano preso in considerazione; in questa fase si acquisiscono tutti i dati necessari all'analisi dei fenomeni e alla loro valutazione, con gli strumenti e le tecniche di indagine di volta in volta appropriati, per individuare le problematiche da risolvere, ponendole in ordine di priorità sulla base degli obiettivi prefissati. Oltre alla raccolta dei dati in situ, è possibile fare riferimento a numerose fonti di informazioni e di dati (statistiche, letteratura, rapporti di ricerca etc.). In particolare, in questo periodo caratterizzato dalla sempre maggiore necessità di rispondere all'emergenza climatica ed ecologica, l'analisi concerne anche i consumi relativi alle diverse risorse (impronta ecologica e impronta idrica), a breve e lungo termine.

Nei temi specifici affrontati la raccolta dei dati concerne:

- la situazione climatica (soleggiamento, venti, pioggia, neve);
- le analisi delle proprietà dei materiali, dei sistemi costruttivi e degli impianti, quale risultato della cultura locale e delle principali trasformazioni/stratificazioni storiche;
- lo stato di conservazione del costruito;
- le prestazioni degli edifici e del tessuto urbano in relazione al comfort interno/esterno e alcuni aspetti della sostenibilità ambientale (indagini con apparecchiature ad hoc: sonde per il rilevamento della temperatura dell'aria e superficiale, della velocità e della pressione dell'aria, della umidità relativa e di risalita mediante la misurazione della resistenza elettrica, delle emissioni - CO₂, VOC, radon - dell'illuminamento, del livello di pressione sonora etc.);
- gli impatti: consumo di risorse, emissioni e inquinamenti;
- l'utilizzazione degli spazi pubblici, aperti, urbani da parte delle diverse utenze e i loro comportamenti.

- l'analisi di appetività, in cui si delineano le caratteristiche dell'utenza e le richieste esigenziali, reperite mediante il rilevamento delle opinioni degli utenti, per quanto riguarda i diversi aspetti della qualità urbana, del comfort e della sostenibilità ambientale. Le tecniche di rilevamento sono quelle tipiche degli studi sociali e della POE (Post Occupancy Evaluation), al fine del raggiungimento di una maggior consapevolezza della tematica e di una maggior partecipazione al processo.

La seconda fase, che è la più interessante e caratterizzante, nasce dal confronto dei risultati delle precedenti analisi; questa valutazione di compatibilità, che si svolge a vari livelli, individua dove è necessario intervenire e, attraverso specifiche metodiche, con quale ordine di priorità e in che modo, individuando le soluzioni tecniche più appropriate, che saranno poi messe a disegno per il progetto.

Facendo riferimento a metodologie applicate in ricerche finalizzate a migliorare la qualità della vita delle persone⁴, per questa ricerca si propone una metodologia che prevede varie fasi, dall'acquisizione dei dati, alla

⁴ Le metodologie a cui si fa riferimento sono state messe a punto e testate in casi di studio nell'ambito di diverse ricerche internazionali, nazionali e di dipartimento svolte nel Dipartimento di Architettura, negli anni passati, dall'autore in qualità

valutazione del rischio, alle strategie di intervento e alle soluzioni sostenibili:

1. l'individuazione e descrizione del rischio, che prevede sia la determinazione delle fonti di rischio che dei soggetti a rischio. La combinazione dei due fattori consente di comprendere la distribuzione territoriale del rischio o, in altri termini, la presenza di aree o situazioni a rischio;
2. la caratterizzazione e stima del tipo di rischio come probabilità di accadimento e quantificazione degli impatti (singoli e combinati), che possono potenzialmente produrre danni alle persone;
3. la valutazione dei livelli di rischio attraverso il confronto delle stime ottenute con criteri di riferimento (valori soglia);
4. il coinvolgimento della comunità interessata alla situazione di rischio, sia per le competenze possedute, la percezione del livello di comfort ambientale legato alle diverse prestazioni e la capacità di adattamento e resilienza, sia per la consapevolezza in merito: al problema, ai comportamenti appropriati per il raggiungimento del bene comune, alle azioni di mitigazione più appropriate e condivise;
5. l'applicazione di un metodo di standardizzazione delle quantità, che le renda confrontabili con quelle definite per gli altri rischi analizzati nella ricerca;
6. la valutazione di come la vulnerabilità dei beni e/o delle persone soggette allo specifico rischio evolve, o viene modificata, in relazione ai prevedibili scenari futuri di cambiamento del clima;
7. l'integrazione di vari aspetti correlati al cambiamento climatico in ampie strategie di sviluppo sostenibile;
8. l'analisi delle possibili opzioni e soluzioni di intervento per ridurre il rischio che si genera per la potenziale accresciuta vulnerabilità e per prevenire gli effetti negativi e i danni.

In alcuni casi, i dati per svolgere le indagini conoscitive relative ai vari rischi possono essere già disponibili, perché raccolti per ottemperare alla redazione dei piani richiesti da normative, cogenti e di consiglio, nazionali, regionali e comunali, come per esempio nel caso dei piani generali: PRG-PUC e POC e PSC (Piano Regolatore Generale-Piano Urbanistico Comunale, L.1150/1942 e seguenti, Piano Operativo Comunale e Piano Strutturale Comunale, L.R. 20/2000); dei piani connessi al comfort ambientale e al risparmio delle risorse: PCCA (Piano Comunale di Classificazione Acustica, Legge Quadro 447/95 sull'inquinamento acustico), PAIR (Piano Aria Integrato Regionale, in attuazione del D.L. 155/2010 e della Direttiva Europea 2008/50/CE sulla qualità dell'aria ambiente), Piano della Luce (a livello comunale in accordo con PCRE, PAES e PEAR), PCRE (Piano Comunale per il Risparmio Energetico, L. 10/1991, che fa riferimento al PEAR, Piano Energetico Ambientale Regionale), Piano del Verde Urbano (L.10/2013), Piano regionale di gestione dei rifiuti (D.Lgs. 205/2010), Norme e linee guida regionali, provinciali e comunali in materia di risparmio idrico (D.Lgs. 152/06, Gestione delle risorse idriche), PAES (Piani di Azione per l'Energia Sostenibile programmati in tutti i comuni che hanno firmato il Patto dei Sindaci CE-EUSEW 2008); dei piani connessi alla mobilità: PUM (Piano Urbano della Mobilità, L.340/2000), PUP (Piano Urbano Parcheggi, L. 122/1989), PSTP (Piano dei Servizi del Trasporto Pubblico, L.R. n.1/2000 "Norme in materia di trasporto pubblico locale, in attuazione del D.L. n. 422/1997), PUT (Piano Urbano del Traffico, D.L. 285/1992 "Nuovo codice della strada") e relativi piani particolareggiati, PEBA (Piano Eliminazione Barriere Architettoniche, L. 41/1986 e L. 104/1992) o PAU (Piano dell'Accessibilità Urbana, Linee Guida Regionali).

3.8.1. Le condizioni climatiche e l'utilizzazione degli spazi urbani: il rischio termico

Poiché la ricerca in oggetto si pone l'obiettivo di condurre un'analisi del rischio multi-hazard centrata sui rischi ambientali connessi ai fenomeni naturali, tra i rischi di interesse disciplinare sopra menzionati, si è deciso di trattarne uno legato al cambiamento climatico, che investe ora anche l'area del Mediterraneo con sempre maggior frequenza, e in particolare al generale aumento della temperatura, focalizzando l'attenzione sull'hazard costituito

di responsabile (PROMPT, SIZE, ASI, PRIN 2004, 2001, 1999, "Metodologie di progettazione per la riqualificazione ambientale degli spazi aperti e del costruito: indicatori di sostenibilità ambientale, strumenti di valutazione quantitativa e qualitativa, strategie di intervento e misure tecniche innovative", "Isole ambientali e mobilità sostenibile", "La valutazione della sostenibilità nelle università italiane: possibilità di applicazione di uno specifico protocollo", "Migliorare il comfort outdoor nei periodi più caldi: uno studio pilota", "L'ambiente stradale urbano: dall'ideazione alla costruzione", "Il comfort ambientale degli spazi aperti: il ruolo del verde", etc.) o di membro del gruppo di ricerca (TATT, PROMISING, "Processi inclusivi nei progetti di genere per la città storica", "From design to management: a benchmarking process to establish how to improve environmental performance and energy efficiency of buildings", etc.). Tutte ricerche finalizzate a migliorare la qualità della vita delle persone che usano gli spazi urbani pubblici, aumentandone le prestazioni principali: accessibilità, sicurezza, comfort ambientale, attrattiva, etc., con particolare attenzione alla salute e alle categorie deboli, e adottando l'ottica della sostenibilità ambientale nelle sue varie declinazioni.

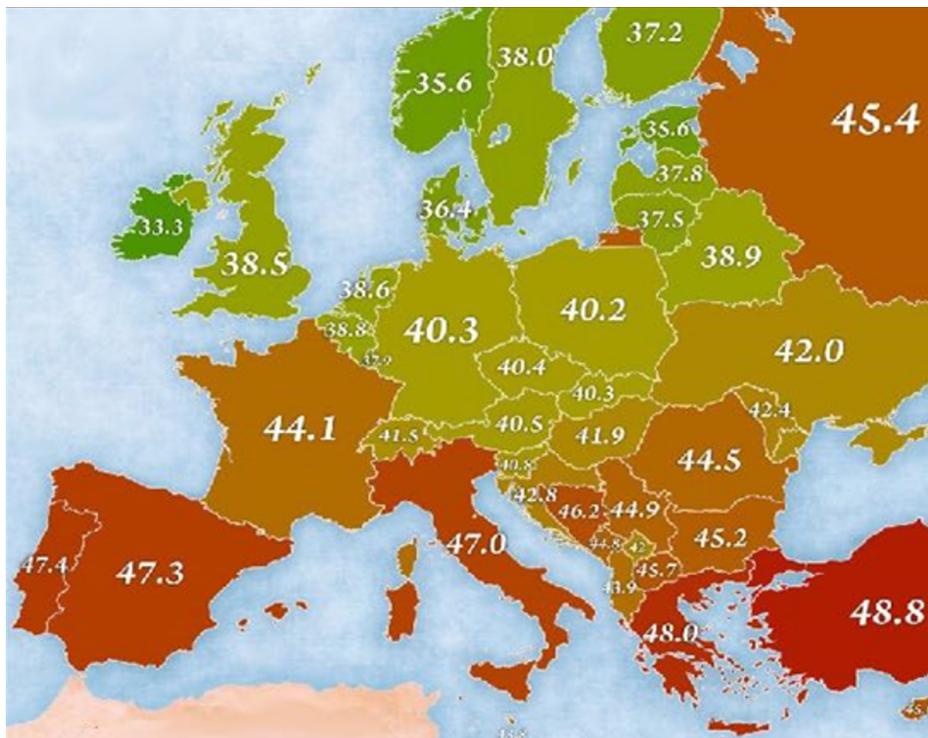


Fig. 1
Le temperature più alte registrate in Europa – Luglio 2018. (Cfr. Credits).

dalle “ondate di calore” e dal surriscaldamento, in parte ad esse collegato, contraddistinto come “isole di calore urbano”; questi due fenomeni possono infatti arrivare a minacciare la salute delle persone, in particolare di quelle più deboli e fragili (malati cronici e anziani), e senz’altro ne compromettono il benessere; le ricadute sono di diversa entità, dal disagio, al malessere, al colpo di calore, all’asma, al ricovero in ospedale per ictus, infarto del miocardio e infine, raramente, alla perdita della vita.

Negli ultimi 50 anni, in Italia, questo rischio ambientale risulta essere rilevante, date le alte temperature raggiunte in estate e l’alta percentuale di anziani presenti, in particolare, nelle Aree Interne. L’Italia ha infatti la popolazione più vecchia d’Europa: gli anziani che hanno più di 65 anni sono il 23,2% (ISTAT, 2021), mentre la media UE è del 20,6% (Eurostat, 2021), e nel Lazio la percentuale è 22,2% (Tuttitalia, 2021); le proiezioni indicano che la percentuale della popolazione anziana europea potrebbe aumentare fino al 29,5% nel 2050 (Eurostat, 2021) e quella italiana fino al 33,7% (Eurostat, 2021) e forse anche fino al 35% (ISTAT, 2021). Nell’ Agosto del 2003, si ricorda l’ondata di calore più grave, con oltre 12.500 decessi (Stima e dati Ministero Salute e ISTAT), oltre il 90% dei quali costituito da anziani. Dal Rapporto “State of the Global Climate 2021” della World Meteorological Organization (WMO), presentato durante una Conferenza stampa tenutasi il 18 maggio 2022, emerge che il 2021, uno degli ultimi sette anni più caldi mai registrati, non ha invertito la tendenza generale all’aumento delle temperature, infatti la temperatura media globale è stata di circa 1,11°C al di sopra della media preindustriale del 1850-1900 (Fig. 1). Eccezionali ondate di caldo hanno toccato anche il Mediterraneo, e nel Siracusano, in agosto, si è rilevata la temperatura più alta in UE: 48,8°C. Grazie al programma europeo “Copernicus”, una rete di satelliti e sensori di terra e di mare che raccoglie dati elaborati dall’European Data Journalism Network, è possibile conoscere la classifica delle regioni italiane in base all’aumento delle temperature; il Lazio detiene il primato, subito dopo la Provincia autonoma di Bolzano, con un aumento di 2,6°C dagli anni ‘60 al 2020 (Massariolo, 2020). L’estate del 2022 sembra non aver invertito il trend di riscaldamento globale; in Italia si è rivelata come la seconda estate più calda dopo quella del 2003 (Angelini, 2022), con varie ondate di calore che hanno portato al superamento dei livelli precedenti, in particolare nelle città e nelle zone più interne del paese, e a un innalzamento anomalo delle temperature, maggiore al Nord, al Centro e nelle due isole maggiori rispetto al sud. Le ondate di calore che si sono susseguite, nel mese di luglio, hanno causato 2.090 decessi, in 33 città italiane, tra gli anziani con più di 65 anni (Martinelli, 2022).

La scelta di valutare tali tipologie di rischio nella presente ricerca è supportata anche dal Global Risks Report redatto dal WEF⁵ che, sin dal 2018, rileva gli eventi meteorologici estremi, tra cui le ondate di calore, tra i prin-

⁵ Il report in formato pdf è scaricabile al seguente link: <https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2018/>.

cipali rischi da considerare, e, in generale, il fallimento della mitigazione e dell'adattamento ai cambiamenti climatici. È importante quindi analizzare la possibilità che le ondate di calore si manifestino, il livello di disagio che possono provocare e in che modo mitigarle.

Nel caso di questo rischio specifico, l'obiettivo è migliorare le condizioni di comfort ambientale e «lo stato di benessere, fisico, mentale e sociale» (OMS,1948) legati alle percezioni sensoriali di chi vive l'ambiente urbano, attraverso l'analisi, la valutazione e la mitigazione delle condizioni microclimatiche locali.

Per lo scopo della ricerca, la proposta agli enti preposti di un protocollo operativo, è opportuno articolare la metodologia sopra descritta in due livelli di approfondimento; il primo, che riguarda il fenomeno delle “ondate di calore”, è molto semplificato e speditivo, proprio per tenere conto delle situazioni proprie delle amministrazioni comunali più piccole, e andrebbe adottato su tutto il territorio analizzato, al fine di individuare le aree maggiormente interessate dal rischio; il secondo, che riguarda “le isole di calore urbano”, è più approfondito e di dettaglio e andrebbe applicato alle aree di attenzione, classificate come prioritarie (cfr. Par. 5.9), che presentano anche il rischio di “ondate di calore”, così come definito nel paragrafo che segue.

3.8.2. Comfort termico e ondate di calore

Ci sono due approcci diversi per definire le “ondate di calore” (Heat Waves): uno climatologico, più recente, che le classifica come “eventi estremi” tra quelli meteorologici, e uno epidemiologico, più consueto, che focalizza l'attenzione sugli effetti locali delle temperature elevate o percepite come tali.

Una definizione peer-reviewed (a revisione paritaria) dell'allocuzione “ondata di calore” dal Glossario di Meteorologia (Glickman, 2000) è: un periodo di tempo in cui il caldo è abnorme e fastidioso, e in genere c'è anche umidità; la durata del periodo dovrebbe essere di almeno un giorno, ma in letteratura si parla convenzionalmente di tre o più giorni; inoltre le temperature dovrebbero essere al di fuori delle medie storiche tipiche del periodo e della zona considerati. La WMO definisce un'ondata di calore come cinque o più giorni consecutivi di calore protratto, in cui la temperatura massima giornaliera è più alta di almeno 5°C della media delle temperature massime (Encyclopedia Britannica Inc., 2018). Comunque, i Paesi hanno definito propri criteri, in particolare sull'aspetto del numero dei giorni consecutivi; calcoli precisi vengono fatti in riferimento a percentili o a medie rispetto a un periodo climatologico di riferimento (in genere 1981-2010 o 1991-2020).

L'approccio epidemiologico individua soglie di temperatura, o di temperatura percepita, che fanno riferimento alla sinergia tra temperatura, umidità e vento che, se superate, possono creare casi di morbilità e/o mortalità; soglie che sono locali, in quanto legate non solo alle specifiche situazioni meteorologiche ma soprattutto alle diverse capacità di adattamento e resilienza, acquisite nel tempo, delle persone che vivono in Paesi con climi diversi.

In Italia, il Portale del Ministero della Salute specifica che: “Le ondate di calore sono condizioni meteorologiche estreme che si verificano quando si registrano temperature molto elevate per più giorni consecutivi, spesso associati a tassi elevati di umidità, forte irraggiamento solare e assenza di ventilazione; tali condizioni rappresentano un rischio per la salute della popolazione. Un'ondata di calore è definita in relazione alle condizioni climatiche di una specifica città e non è quindi possibile individuare una temperatura-soglia di rischio valida a tutte le latitudini” (Ministero della Salute, 2022).

È perciò importante fare riferimento a soglie che diano indicazioni sui possibili livelli di disagio in relazione a specifiche situazioni e, se possibile, coinvolgere anche la popolazione nel processo di analisi e valutazione.

Il Portale del Ministero della Salute specifica anche che 27 città sono incluse nel “Piano nazionale di prevenzione e allerta degli effetti sulla salute delle ondate di calore”, curato dal Ministero della Salute, con l'apporto tecnico-scientifico del Centro di Competenza Nazionale (CCN), e coordinato dal Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale del Lazio (DEP), e sono dotate di un Sistema nazionale di previsione e allarme (Heat Health Watch Warning - HHWW) e di un sistema di monitoraggio che permette di valutare l'impatto delle condizioni meteorologiche/ondate di calore sulla salute della popolazione; l'indicatore utilizzato, sviluppato dal DEP Lazio e mirato agli anziani di età uguale o maggiore a 65 anni, misura l'effetto sulla mortalità giornaliera. Precisa poi che vengono elaborati e pubblicati bollettini per ogni città, i “Bollettini delle ondate di calore”, che segnalano, per il giorno stesso e per i due giorni successivi, le condizioni di rischio per la salute e le classificano in 4 livelli in relazione alla gravità degli eventi previsti: “L'informazione contenuta sul bollettino consente l'attivazione tempestiva a livello locale delle procedure di allerta e di emergenza e la modulazione degli interventi di prevenzione sulla base dei livelli di rischio previsti”⁶. Le città incluse nel piano nazionale

⁶ La sequenza di più giorni consecutivi con livelli di disagio maggiori, o con valori massimi giornalieri che superano le soglie più alte, indicano la necessità di attivare programmi di contrasto degli effetti dannosi sulla salute delle ondate di

hanno tutte un notevole numero di abitanti (il minimo è rappresentato da Frosinone: 44.487 abitanti nel 2021), non si hanno quindi informazioni per quanto riguarda i centri urbani più piccoli e in particolare per le Aree Interne (nel Lazio le città monitorate, oltre a Frosinone, sono: Civitavecchia, Latina, Roma, Rieti e Viterbo). Sembra quindi opportuno dotarsi di uno strumento agile che possa far prevedere in situ l'eventuale avverarsi del fenomeno, ma soprattutto che faccia capire se la zona analizzata abbia già presentato situazioni prodromiche di ondate di calore e quindi possa esserne nuovamente interessata, in modo da poter effettuare interventi che ne mitigano gli effetti negativi.

Considerando il rischio presentato dalle ondate di calore, si elencano sinteticamente i principali aspetti che vanno analizzati:

- per la pericolosità (P), la temperatura e l'umidità relativa come dati di base per il verificarsi del fenomeno, l'indice di Thom come soglia per definire il conseguente disagio;
- per la vulnerabilità (V), la presenza di persone negli spazi urbani connessa all'esigenza di raggiungere i servizi e alla capacità di attrazione commerciale;
- per capire dove intervenire, la compresenza di pericolosità e vulnerabilità che indica gli spazi urbani dove sono presenti diversi livelli di rischio ($P \times V = R$).

3.8.2.1. La pericolosità

La definizione della pericolosità concerne la probabilità che un evento, in questo caso le ondate di calore, si verifichi in una zona definita. Quindi, piuttosto che impegnarsi a fare calcoli finalizzati a disquisire se tale evento possa essere effettivamente classificato come ondata di calore o meno, si preferisce appurarne il possibile accadimento e stabilire se e quando esso causi disagi e problemi di salute alle persone che lo subiscono, quindi la raccolta dei dati e la definizione delle soglie è improntata a tale obiettivo.

L'acquisizione dei dati necessari può avvenire tramite banche dati, se disponibili, o tramite rilevamento diretto. In tal senso le attrezzature più appropriate sono le stazioni meteorologiche, posizionate in luoghi opportuni nel territorio comunale, eventualmente supportate da registrazioni e immagini via satellite; il loro sistema di ricezione dei dati giornalieri, rilevati ogni 10', crea un file che contiene vari dati meteorologici quali la temperatura (T°C) e l'umidità relativa (UR), che servono in questo primo livello di analisi, i venti prevalenti e le condizioni di soleggiamento, la rugiada, la piovosità, etc., che possono servire per livelli di approfondimento ulteriore; questi dati vanno poi rielaborati con software dedicati e ordinati su fogli Excel per poterli poi analizzare e graficizzare più facilmente. È importante che la funzionalità della stazione e l'attendibilità dei dati acquisiti sia garantita da operazioni di manutenzione preventiva o correttiva e da una costante azione di controllo e di validazione da parte di tecnici specializzati.

Tra i vari indici utilizzati per definire la pericolosità, si sono vagliati gli indici biometeorologici, considerati in alcuni documenti tecnici (Arpa, 2015; Ispra 2014), e si è scelto di fare riferimento a un indice molto sintetico e semplice: il "Discomfort Index" di Thom (DI), che permette di correlare i fattori causali del fenomeno al possibile disagio fisiologico percepito dalle persone e, attraverso la loro analisi e valutazione, di classificare tale disagio in diversi livelli. L'indice di disagio bioclimatico proposto, che prende il nome dallo studioso che lo ha sviluppato (Thom, 1959), è considerato uno degli indici più affidabili di stima della temperatura effettiva; esso combina, in un singolo valore, l'effetto di temperatura esterna, valori di umidità e movimento dell'aria sulla sensazione di caldo umido percepito dalle persone.

La formula di calcolo originaria considerava due grandezze: la temperatura dell'aria e la temperatura di bulbo umido⁷, ma poiché quest'ultima è difficilmente reperibile, si può usare una seconda formula, che considera la temperatura dell'aria e l'umidità relativa e può essere usata per calcolare approssimativamente il valore dell'indice di disagio di Thom⁸:

$$DI = T - (0.55 - 0.0055 \cdot RH) \cdot (T - 14.5)$$

Dove: DI = Discomfort Index, T (°C) = temperature/temperatura dell'aria e RH (%) = relative humidity/umidità relativa.

L'indice di Thom si esprime di solito con valori che potrebbero essere definiti come "di temperatura

calore; ogni regione sceglie il numero dei giorni consecutivi (da 2 a 3 o anche più) o i massimi valori giornalieri.

⁷ Il Discomfort Index di Thom (DI) viene calcolato con la formula: $DI = 0,4 (T_a + T_w) + 4,8$ dove T_a = temperatura di bulbo asciutto (°C) e T_w = temperatura di bulbo umido (°C).

⁸ La formula è relativa al Thermohygrothermic Index (THI), utilizzata anche per definire il disagio invernale.

percepita”; tali valori, una volta posti in relazione a specifiche soglie, vengono raggruppati in sei classi, che indicano le percentuali di persone che percepiscono disagio a livelli crescenti, definiti in un intervallo tra 21°C e 47°C ; al di fuori di tale intervallo, anche con percentuali diverse di umidità relativa, per temperature inferiori si considera la condizione fisiologica di “benessere” e per temperature superiori si considera lo “stato di emergenza sanitaria”. La prima classe concerne la sensazione di “benessere”, quindi nessun disagio fino a 21°C; le altre cinque classi riguardano tutte la sensazione di disagio. Una matrice, che pone in relazione la temperatura (da 22°C a 42°C) e l’umidità relativa (da 25% a 100%), permette di classificare i valori dell’indice (risultati dall’applicazione della formula che considera temperatura e umidità relativa) in sei fasce diversamente colorate, una di benessere e cinque di disagio, sulla base di specifici range, come specificato dal Discomfort Index di Thom (Fig.2). Per definire e valutare il rischio, è opportuno tralasciare la classe inerente il “benessere” e fare riferimento quindi alle altre 5 classi soltanto, evidenziando che le prime quattro si differenziano per la quantità di popolazione che percepisce il disagio: meno del 50%, più del 50%, la maggioranza della popolazione, tutta la popolazione, mentre la quarta e la quinta si differenziano anche per la qualità del disagio percepito: forte o molto forte, e la terza e la quinta per le conseguenze sulla salute: deterioramento dello stato psico-fisico o elevato rischio di colpi di calore.

Si potrebbero anche usare 3 livelli (debole disagio, disagio, forte disagio), come suggerito in una tesi di laurea sulla base del “Report provinciale Servizio Sanitario Regionale Emilia-Romagna AUSL di Bologna”, ma in questo caso l’ottica è più concentrata sugli effetti sanitari e sulla mortalità e meno sul comfort nella vita quotidiana. La scelta del numero delle classi si può operare in funzione dell’obiettivo posto (Morcavallo, 2013).

Gli esiti di questa analisi sono costituiti da tabelle e grafici, finalizzati a capire il microclima del sito, la situazione

Fig. 2
Tabella del Discomfort Index di Thom.
(Cfr. Credits).

	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°	32	32	33	33	34	34	35	35	36	36	37	37	37	38	38	38
41°	31	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	37	37	37	37
40°	30	31	31	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	36	37
39°	30	30	31	31	32	32	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36
38°	29	30	30	31	31	31	32	32	33	33	34	34	34	35	35	35
37°	28	29	29	30	30	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	34
36°	28	28	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33	33	34
35°	27	27	28	28	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33
34°	26	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32
33°	26	26	27	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31
32°	25	25	26	26	27	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	30
31°	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30
30°	24	24	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29
29°	23	23	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28
28°	22	23	23	23	24	24	25	25	25	25	26	26	26	27	27	27
27°	22	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26
26°	21	21	22	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	25	25	26
25°	20	21	21	21	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	25	25
24°	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24
23°	19	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23
22°	18	19	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22

Fino a 21	DI < 21	Benessere
21 - 23	21 ≤ DI < 24	Meno della metà della popolazione prova disagio
24 - 26	24 ≤ DI < 27	Più della metà della popolazione prova disagio
27 - 28	27 ≤ DI < 29	La maggioranza della popolazione prova disagio e un deterioramento dello stato psico-fisico
29 - 31	29 ≤ DI < 32	Tutta la popolazione prova un forte disagio
Da 32	DI ≥ 32	Stato di emergenza sanitaria per il disagio molto forte con elevato rischio di colpi di calore

in merito al benessere termico e, in particolare, a individuare i giorni più problematici e i livelli di pericolosità attraverso il calcolo dell'indice di disagio, che può essere fatto con una elaborazione automatica. Una successiva lettura accurata di tali livelli di disagio, effettuata sia per ogni giorno del mese, sia per le possibili sequenze di giorni, interessate da livelli di disagio più o meno alti, permette di commentare e valutare la situazione nell'area considerata e in particolare di verificare la presenza delle ondate di calore al fine di evidenziarne la pericolosità. L'aspetto del perdurare del fenomeno nel tempo, che caratterizza le ondate di calore, aumenta infatti il disagio e la pericolosità e quindi motiva maggiormente ogni intervento atto a mitigarne gli effetti negativi sulle persone. L'esemplificazione su un caso di studio (Cave) rende evidenti i diversi passi da compiere (Par. 7.6.6 Valutazione speditiva delle ondate di calore a Cave in: Parte IV - Il caso di studio).

3.8.2.2. La vulnerabilità

Il concetto di vulnerabilità è connesso alla propensione della società a essere colpita negativamente dal fenomeno delle ondate di calore, quindi gli aspetti che dovrebbero essere considerati sono: la quantità di persone che potrebbero essere interessate da tale fenomeno, le loro caratteristiche e il livello di fragilità che ne può condizionare la sensitività, la capacità di adattamento e la resilienza, nonché l'identificazione degli spazi che queste persone usano e per quanto tempo. Il metodo descritto e proposto, pur essendo basato su un'analisi parziale, grazie a una valutazione pesata, aiuta a capire in quali casi e in quali luoghi è possibile che ci sia un maggior numero di persone che sono soggette agli eventuali effetti negativi del fenomeno studiato.

Per ottenere tutte le informazioni, ci si potrebbe riferire alle sezioni di censimento, alle circoscrizioni, alle micro sezioni immobiliari, etc.; si potrebbero consultare i dati forniti dall'ISTAT e in particolare quelli raccolti con le indagini sociali, quali per es. gli "Aspetti della vita quotidiana"; si potrebbero fare studi e rilevamenti di vario tipo; tutti metodi senz'altro adatti a definire la quantità di persone interessate e le loro caratteristiche, ma il reperimento, la cernita e l'elaborazione di questa notevole quantità di dati risulterebbero nel complesso abbastanza laboriosi, per lo scopo prefissato, e non sempre esaustivi, soprattutto per la definizione dell'uso dello spazio urbano in realtà specifiche, per cui sarebbe necessario coinvolgere anche la popolazione. Va inoltre ricordato che la vulnerabilità può variare da zona a zona, anche all'interno della stessa conurbazione, in connessione alle modalità di strutturazione dello spazio (cfr. Par. 3.8.3) quindi è opportuno applicare metodi più mirati alla specifica area.

Per semplificare al massimo anche questa parte di analisi e valutazione, si è deciso di concentrarsi solo su uno degli aspetti prima elencati: la presenza di persone nei vari spazi urbani, quantificata in funzione dell'uso che ne viene fatto per svolgere le attività quotidiane e per raggiungere i servizi presenti. Per gli spostamenti pedonali non sono in genere disponibili dati locali, quantitativi e qualitativi, quindi per definire i flussi pedonali è necessario applicare metodi specifici: teorici o empirici. Il metodo che si propone qui per individuare il livello di frequentazione degli spazi urbani è un metodo teorico, che non tiene conto dei reali comportamenti e delle preferenze soggettive nella scelta dei percorsi, quindi esso potrebbe essere validato con il rilievo a campione dei flussi pedonali, con l'osservazione degli spostamenti e del soggiorno delle persone negli spazi e con il coinvolgimento diretto dell'utenza nell'indagine.

La frequentazione degli spazi urbani è legata ai generatori di flussi pedonali, ossia alle origini e alle destinazioni principali. In una zona urbana, le origini possono essere costituite dagli ingressi degli edifici residenziali, per gli abitanti della zona, e dai punti di scambio intermodale (fermate del trasporto pubblico, parcheggi, accessi meccanizzati etc.) per i visitatori (utenti provenienti dall'esterno), mentre le destinazioni possono essere i poli di attrazione, puntuali e diffusi, a livello locale e/o a livello comunale, quali: servizi importanti, fermate dei mezzi di trasporto pubblico, tessuto commerciale e luoghi pubblici di aggregazione. Va sottolineato che i nodi intermodali assumono un ruolo diverso secondo l'utenza considerata: sono una destinazione per il flusso pedonale dei residenti, che vi accede per raggiungere le zone commerciali o i servizi ubicati al di fuori dell'area e non facilmente raggiungibili a piedi; sono un'origine per il flusso pedonale dei visitatori che inizia da essi il suo percorso a piedi per raggiungere le destinazioni presenti nell'area.

Facendo riferimento all'applicazione dello strumento della "Isola Ambientale", previsto nella normativa dei PUT e ulteriormente approfondito in successivi studi (PUT, 1992; Martincigh, 2004 e 2008; OCS, 2006), per l'analisi si considera un'area contenuta all'interno di un raggio massimo di 500 m, che viene considerato il limite di un percorso che possa essere fatto a piedi, in un tempo limitato e senza troppo sforzo. Se il comune oggetto di studio è grande, il centro abitato può essere suddiviso in più aree di indagine, definite in funzione delle loro caratteristiche e con estensioni che possano essere contenute in cerchi ideali, con raggi da un minimo di 300 (OCS, 2006) a un massimo di 500 metri (Martincigh, 2012).

Il metodo proposto si basa sull'individuazione delle linee di desiderio, cioè dei percorsi teorici Origine-Destinazione più brevi, e sulla costruzione dei corrispondenti percorsi reali, più possibile tangenti a quelli ideali,

utilizzati da diverse ipotizzabili utenze: residenti e visitatori, quotidiani o saltuari; analizzando l'addensamento delle singole linee di desiderio, si possono definire i tratti più frequentati dagli utenti nei loro spostamenti giornalieri e attribuire a essi, tramite una sintetica scala di pesi (da 3 a 5 valori), diversi livelli quantitativi teorici di utilizzazione; in questo modo è possibile mettere in ordine di priorità vari spazi urbani in funzione della loro frequentazione, da Molto Bassa a Molto Alta, e così ottenere il grado di vulnerabilità degli spazi urbani considerati. Il metodo teorico di individuazione dei percorsi più battuti, a cui si fa riferimento, che è stato ideato per individuare la rete pedonale prioritaria su cui incentrare la progettazione, è abbastanza complesso e approfondito, per la quantità di informazioni da fornire, e quindi richiede molta precisione e notevole tempo per la sua applicazione (Martincigh, Di Guida, 2016). Qui, dato l'obiettivo da raggiungere, ne viene proposta una versione molto più snella; nel caso dei piccoli centri storici, la definizione delle origini, per esempio, è molto semplificata considerando, per grandi linee, solo gli ambiti di provenienza nel loro complesso, senza costruire come origine, per ogni singola stradina o isolato, il baricentro degli ingressi delle abitazioni. L'esemplificazione su un caso di studio (Cave) chiarisce e illustra, anche graficamente, i diversi passi da compiere (Par. 7.6.6 Valutazione speditiva delle ondate di calore a Cave in: Parte IV – Il caso di studio).

3.8.2.3. La valutazione del rischio “ondate di calore” (PxV)

La concomitanza di pericolosità e vulnerabilità negli spazi urbani analizzati indica dove si può presentare il rischio di ricadute negative, dovute alle ondate di calore, sul benessere delle persone ($P \times V = R$); questo rischio può presentarsi a livelli più o meno gravi nei vari spazi urbani analizzati, quindi è importante classificare tali spazi, considerando i diversi gradi riscontrati sia di pericolosità che di vulnerabilità, al fine di stilare una graduatoria, in ordine di priorità decrescente, che costituisca uno strumento utile per decidere dove intervenire prima al fine di prevenire e mitigare il rischio.

Prima di accennare a come redigere tale graduatoria, è necessario fare una premessa. Il metodo proposto per definire la pericolosità degli spazi urbani si basa sui dati di temperatura e umidità relativa rilevati da stazioni meteorologiche. Se l'area presa in considerazione non è vasta, un piccolo centro storico per esempio, la stazione di rilevamento sarà una sola e quindi il livello di pericolosità risulterà uniforme per tutti gli spazi urbani di cui è composta. In questo caso, in presenza di un livello di pericolosità che necessita di attenzione, e una volta definite l'entità e gli effetti, la priorità di intervento sarà valutata solo in funzione della vulnerabilità, che tiene conto, secondo una stima teorica, e approssimativa, dei diversi flussi di persone che frequentano gli spazi urbani. Per un'analisi più puntuale, ma soprattutto più funzionale alla definizione degli ambiti di intervento, sarebbe quindi auspicabile che l'amministrazione si dotasse di un numero maggiore di stazioni meteo locali, ben distribuite nell'area da tenere sotto osservazione.

Per poter operare la valutazione del rischio è necessario che il numero di classi definito per la valutazione della pericolosità sia lo stesso di quello definito per la valutazione della vulnerabilità (3 o 5). Nel caso delle ondate di calore, 5 range possono essere rappresentativi sia della pericolosità, facendo riferimento al livello di disagio, che della vulnerabilità, facendo riferimento al flusso delle persone: Molto alto - Alto - Medio - Basso - Molto Basso. Al fine di costruire i range del rischio connesso alle ondate di calore in ambito urbano, si può usare una tabella finale che sintetizza gli apporti dei due parametri presi in considerazione: pericolosità e vulnerabilità, con i loro rispettivi pesi, per esempio da 1 a 5; i valori finali, ottenuti dalla moltiplicazione di ogni coppia di valori, possono essere articolati in 5 range, in base a cui classificare gli spazi urbani analizzati, per poterli poi elencare secondo il livello di rischio che presentano, seguendo un ordine di priorità, dal livello di rischio più alto al più basso (Molto alto - Alto - Medio - Basso - Molto Basso).

Evidenziando quali sono gli spazi urbani in cui è opportuno intervenire in via prioritaria, è possibile programmare in modo opportuno gli interventi nel tempo, in funzione dei fondi o dei finanziamenti già disponibili o da richiedere.

L'esemplificazione su un caso di studio (Cave) è esplicativo per quanto riguarda la tabellazione (Par. 7.6.6 Valutazione speditiva delle ondate di calore a Cave in: Parte IV – Il caso di studio).

Se si vuole fare una valutazione del rischio complessivo esistente negli spazi urbani, considerando gli altri rischi naturali e/o antropici elencati all'inizio di questo paragrafo, va evidenziato che per molti di questi rischi la definizione della vulnerabilità potrebbe rimanere invariata e quindi si dovrebbero affrontare solo gli altri aspetti della pericolosità. In questo caso, per ogni spazio urbano, si può fare la valutazione complessiva della pericolosità aggiungendo ulteriori colonne, su cui riportare i livelli di pericolosità degli altri fenomeni considerati, nella tabella della pericolosità già redatta per le ondate di calore, avendo cura di utilizzare una scala comune in modo che essi siano confrontabili, o applicando la tecnica della normalizzazione. Verrà poi redatta una tabella finale a due colonne, in cui si riportano i valori della pericolosità complessiva così calcolati e i valori della vulnerabilità, spazio per spazio; dalla moltiplicazione di questi due valori si otterranno i valori finali che permettono

di redigere la classificazione degli spazi urbani e di elencarli in ordine di priorità in funzione del grado di rischio complessivo. Questo metodo di valutazione è stato applicato in uno studio svolto per il quartiere di Testaccio, a Roma, su alcuni fattori di pericolosità diversi (inquinamento atmosferico, inquinamento acustico e velocità veicolare) e considerando il flusso pedonale per definire la vulnerabilità; la lettura sinergica della tabella finale, evidenziando quali spazi urbani presentano maggiori rischi, permette di definire ubicazione, priorità e, indirettamente, portata degli interventi (Martincigh, Di Guida, 2016).

Va anche considerato che, trattandosi di rischi legati a fenomeni diversi, potrebbe essere opportuno attribuire a ogni fenomeno un coefficiente, in modo da poter classificare i rischi in base alla loro reciproca rilevanza. In questo caso, per ogni fenomeno è necessario fare una tabella con i due parametri: pericolosità e vulnerabilità, con i loro rispettivi valori atti a valutare il rischio per ogni spazio urbano considerato, in modo da poter pesare il grado di rischio risultante con il coefficiente attribuito al fenomeno analizzato. Si potrà poi fare una tabella finale che raccoglie i risultati delle singole tabelle che assommata restituiscono il grado di rischio complessivo di ogni spazio urbano analizzato.

3.8.3. Comfort termico e isole urbane di calore - Urban Heat Island (UHI)

Le ondate di calore, di cui si è parlato nel paragrafo precedente, possono essere accentuate a causa di un fenomeno che avviene in area urbana, dove le temperature risultano più elevate, in particolare durante la notte, che in area periferica o rurale, con differenze anche di 5 gradi centigradi; questa anomalia di temperatura, che rappresenta una particolarità microclimatica dell'ambiente urbano, prende il nome di "isola di calore" o Urban Heat Island (UHI). Questo fenomeno è stato individuato sin dall'inizio dell'Ottocento (nel 1810, l'inglese Luke Howard dimostrò che la temperatura del centro di Londra era maggiore di quella della fascia rurale circostante); all'inizio del Novecento per la prima volta apparve un accenno al termine, poi ampiamente usato, di "isola di calore urbana" (nel 1929, il tedesco Albert Pepler descrisse il fenomeno come una "städtischen Wärmeinsel"); gli studi sull'argomento, condotti a livello internazionale, sono continuati dal novecento in poi con un nutrito numero di lavori, aumentati notevolmente di pari passo con l'interesse dal 2000 a oggi, mettendo a punto metodi atti a comprendere a fondo il fenomeno.

Mentre le ondate di calore sono poste "in relazione alle condizioni climatiche di una specifica città", come già riportato in una citazione precedente (cfr. Par. 3.8.2), l'isola di calore va posta in relazione anche con la conformazione e la costruzione della città considerata, in primis, e, poi, con i suoi modi d'uso.

Questo microclima locale modificato, più caldo, si verifica infatti per una concomitanza di fattori che riguardano, da un lato, la struttura della città: la morfologia urbana, l'orientamento rispetto ai venti, i materiali con cui è costruita, l'impermeabilità dei suoli, la quantità e tipologia di vegetazione presente, e quindi di superfici evapotraspiranti, dall'altro, le attività che vi si svolgono, che portano al rilascio di calore residuo dovuto ai flussi di traffico veicolare e alla velocità tenuta in città, a varie apparecchiature, quali condizionatori, frigoriferi, a impianti industriali etc. (Nuruzzaman 2015; Mohajerani, Bakaric, Jeffrey-Bailey, 2017). Tutte caratteristiche specifiche di ogni impianto urbano. A maggior ragione quindi, anche questa volta si può definire una metodologia di valutazione ma non si possono definire range di valori univoci.

Va poi considerato che il livello di comfort esperito dalle persone in relazione alle condizioni microclimatiche, dovute agli elementi che costituiscono l'ambiente urbano e ai fattori che provano i sensi e, al suo opposto, il livello di disagio sono legati anche ad aspetti psicologici e culturali, come pure alle tipologie di attività svolte e alle disposizioni d'animo, quindi a valutazioni soggettive. È perciò molto importante coinvolgere l'utenza anche a questo stadio del processo di analisi e valutazione.

L'isola di calore può essere di due tipi: di calore superficiale e di calore atmosferico; la prima, riferita soprattutto all'aumento della temperatura dei materiali di cui sono costituite le superfici e sub-superfici, è più evidente di giorno, la seconda, riferita all'aumento della temperatura dell'aria, prende avvio al calar del sole e continua di notte in quanto in città la velocità di raffreddamento radiativo è ridotta. Le superfici assorbenti e impermeabili, la densità edilizia e la morfologia caratterizzata da geometrie di *urban canyon*, che causano riflessioni multiple della radiazione solare, riducono la velocità del vento e lo *sky view factor*, fanno sì che l'ambiente urbano abbia una maggior capacità di catturare la radiazione solare e di accumulare calore, di giorno, e una minor capacità di disperdere la radiazione infrarossa durante le ore notturne (Colucci, 2019).

L'isola di calore atmosferico a livello del *canopy layer* urbano è la più interessante, perché riguarda la temperatura degli strati della massa d'aria che occupa lo spazio vuoto tridimensionale, delimitato dalle quinte stradali e dalla superficie di calpestio, situato al di sotto del livello di copertura degli edifici o della cima degli alberi, frequentato dalle persone.

Il fenomeno dell'isola di calore, in particolare nei climi caldi, ha implicazioni negative non solo sul comfort e sulla salute delle persone, ma anche su molti aspetti che influiscono sull'ambiente, quindi il rischio sanitario si

aggiunge a quello ecologico. L'isola di calore infatti si combina ad altri fenomeni tipici dell'area urbana come: l'inquinamento dell'aria e altri tipi di inquinamento, quali l'inquinamento acustico, idrico (acque di ruscellamento), lo smog, il traffico congestionato e i comportamenti "inurbani", che portano a una scarsa vivibilità oltre che a un aumento di temperatura delle acque superficiali e produzione di gas serra, a maggiori consumi energetici e idrici, a scelte in merito a gestione rifiuti e pianificazione urbana.

Il cambiamento climatico globale, aumentando il carico termico, accentua l'impatto delle UHI nelle aree urbane, evidenziando così come il problema del microclima caldo in area urbana sia sempre più pressante. È importante quindi poter anticipare il fenomeno e non solo allertarne l'accadimento. Anche in questo caso il fine è potersi dotare di uno strumento agile, che possa dare un'idea di dove sia necessario effettuare interventi atti a ridurre la possibilità che il fenomeno si verifichi e a mitigarne gli effetti negativi.

Considerando il rischio presentato dalle isole di calore, si elencano sinteticamente i principali aspetti che vanno analizzati:

- per la pericolosità (P), la quantità di soleggiamento, la ventilazione e i materiali delle superfici orizzontali come cause principali che portano al surriscaldamento e le relative soglie per la valutazione;
- per la vulnerabilità (V), la presenza di persone negli spazi urbani connessa all'esigenza di raggiungere i servizi e alla capacità di attrazione commerciale;
- per capire dove intervenire, la compresenza di pericolosità e vulnerabilità che indica gli spazi urbani dove sono presenti diversi livelli di rischio ($P \times V = R$).

3.8.3.1. La pericolosità

L'approfondimento dell'analisi da svolgere in merito al comfort termico riguarda, prima, la verifica della possibilità che le isole di calore urbano si manifestino negli spazi urbani outdoor e, poi, la definizione della maggiore o minore entità del fenomeno nei diversi spazi in funzione di alcuni specifici fattori, quindi la metodologia da utilizzare è improntata a raggiungere tali obiettivi.

L'evenienza e l'entità dell'isola di calore possono essere desunte da rilevamenti puntuali, effettuati con molteplici sensori opportunamente posizionati a livello del *canopy layer* e campagne di misure, o da immagini satellitari, seguiti dall'analisi dei dati e dall'applicazione di formule e calcoli più o meno complessi (Lora *et al.*, 2006; Morcavallo, 2013). Dati gli scopi della ricerca, si propone un metodo più empirico, incentrato sull'influenza che la morfologia e la matericità della struttura urbana possono avere nell'aumento delle temperature. Il metodo descritto ripropone in modo sintetico e parziale una metodologia messa a punto in ricerche effettuate nel tempo e applicata in casi di studio (Martincigh, Di Guida, 2019). Esso viene utilizzato per analizzare, valutare e classificare i singoli spazi urbani in relazione ad ognuno dei fattori considerati. La sommatoria delle valutazioni effettuate per i diversi fattori permette di dare un giudizio complessivo sull'entità del fenomeno nei vari spazi urbani, di porli in ordine di priorità e identificare quelli che presentano una situazione di pericolosità maggiore.

Perché lo strumento di analisi sia di facile applicazione, si è deciso di focalizzare l'attenzione solo su tre fattori basilari: soleggiamento, ventilazione e materiali. I dati da raccogliere, specifici della zona che si vuole analizzare, sono sintetici e sono utilizzati per studiare le prestazioni offerte dai vari spazi urbani, nonché per definire i range da utilizzare per una valutazione sintetica a tre livelli (Alto - Medio - Basso); essi riguardano: le temperature; le ore di soleggiamento, l'altezza e l'azimut dei raggi solari nel periodo estivo, e in particolare nel solstizio; i venti dominanti e le loro caratteristiche nel periodo estivo e in particolare il 21 giugno (giornata rappresentativa dell'estate); i materiali, utilizzati per le superfici orizzontali a livello del suolo della zona considerata, e le loro proprietà termiche e radiative (albedo). Lo studio del soleggiamento può essere fatto nei 4 mesi estivi (giugno, luglio, agosto e settembre) o può essere concentrato solo nel giorno del solstizio d'estate, che rappresenta il giorno con il massimo numero di ore di luce solare e la massima altezza del sole sull'orizzonte (a Roma, il 21.6.2021, 15h14' e 71°30' secondo l'Unione Astrofili Italiani); le ore di soleggiamento vanno calcolate per ogni spazio urbano considerando l'ombreggiamento portato dagli edifici e dal verde (alberi, siepi, etc.), che riducono la radiazione solare incidente sulla superficie orizzontale.

I dati sopra elencati possono essere reperiti tramite banche dati, se disponibili, o utilizzando i dati raccolti da stazioni meteorologiche posizionate in luoghi opportuni nel territorio comunale, come già specificato nella descrizione delle operazioni da compiere per le ondate di calore (cfr. Par. 3.8.2.1), o consultando la letteratura scientifica o con strumenti quali la carta solare, la rosa dei venti, le tabelle dei valori del coefficiente di riflessione (albedo) per diverse superfici (tabella della norma UNI 8477 o similari), etc. o infine con il rilevamento diretto, come nel caso dei materiali che costituiscono le superfici orizzontali degli spazi urbani analizzati.

Per definire le prestazioni offerte dagli spazi pubblici, oltre ai dati sopra elencati, è necessario anche studiare la loro morfologia, la geometria dei canyon urbani e l'orientamento rispetto ai punti cardinali attraverso l'osservazione, il rilievo e le elaborazioni grafiche. I dati da raccogliere riguardano: altezze degli edifici, lunghezza e larghezza

degli isolati, dimensioni e conformazione degli spazi urbani (strade, slarghi, piazze, etc.) che permettono di elaborare planimetrie quotate, da cui si evincono gli andamenti e le interruzioni delle quinte stradali; sezioni stradali, da cui si evince il rapporto tra altezza e larghezza degli spazi analizzati; planivolumetrico dell'ambito urbano considerato, che serve come base per applicare il software dedicato allo studio dell'ombreggiamento/soleggiamento (per es.: REVIT, Sketchup Studio, Grasshopper etc.).

Alcuni di questi dati e di queste elaborazioni possono essere disponibili negli uffici tecnici dei Comuni, perché sono stati già necessari per redigere i piani richiesti da varie normative, come già riportato alla fine della descrizione della metodologia generale (cfr. Par. 3.8) o possono essere raccolti in contemporanea allo svolgimento delle prime valutazioni di massima.

Gli esiti di questa analisi saranno sezioni e planimetrie con lo studio del soleggiamento, dei venti e dei materiali delle superfici orizzontali degli spazi analizzati, con relative legende; tabelle e matrici, finalizzate a valutare:

- l'apporto del soleggiamento, calcolato attraverso due parametri: il numero di ore in cui la superficie orizzontale dello spazio è colpita dalla radiazione solare incidente e le fasce orarie in cui ciò avviene, entrambi pesati, il primo in relazione al numero totale di ore in cui splende il sole nel giorno studiato e nella zona considerata, le seconde in relazione alle temperature medie nel giorno studiato e nella zona considerata; una matrice di relazione tra i due parametri pesati e il rapporto con soglie specifiche forniscono la valutazione dell'apporto del soleggiamento nello spazio analizzato (pesi min 2 - max 6 riportati a 3 range);
- l'apporto dei venti, calcolato definendo prima il vento dominante nel giorno/periodo studiato e nella zona considerata, e poi calcolando l'angolo di divergenza tra la sua direzione e l'orientamento dello spazio urbano analizzato; gli angoli di divergenza sono pesati in funzione del ruolo che hanno di facilitare o meno la ventilazione estiva e, una volta confrontati con soglie specifiche, guidano nella valutazione dell'apporto del vento nello spazio analizzato (3 range, pesi min 1 - max 3);
- l'apporto dei materiali che costituiscono le superfici orizzontali, calcolato attraverso la definizione dell'albedo; i valori dell'albedo sono pesati in relazione alla loro capacità maggiore o minore di riflettere la radiazione solare incidente e la conseguente capacità, rispettivamente, minore o maggiore di assorbimento, che possono influenzare la temperatura; posti poi in rapporto con specifiche soglie, forniscono la valutazione dell'apporto dei materiali nello spazio analizzato (3 range, pesi min 1 - max 3).

Una tabella finale sintetizza gli apporti dei tre fattori presi in considerazione e classifica gli spazi urbani analizzati, ponendoli in ordine di priorità per quanto riguarda la pericolosità, in base al risultato ottenuto con la somma dei loro diversi pesi (min 4 - max 12). Questi pesi possono essere raggruppati in gradi di pericolosità (3 - 5 range) per la valutazione finale.

L'esemplificazione su un caso di studio (Cave) rende più evidenti i diversi passi da compiere, le elaborazioni grafiche, le soglie utilizzate e le valutazioni connesse (Par. 7.8.4 Isole di calore a Cave in: Parte IV - Il caso di studio).

3.8.3.2. La vulnerabilità

Per definire la vulnerabilità, a questo livello di analisi, restano valide tutte le riflessioni e le indicazioni già fornite nonché la metodologia già proposta in precedenza per le ondate di calore. Pertanto si possono utilizzare le stesse informazioni raccolte, le analisi, le elaborazioni grafiche e le valutazioni fatte in precedenza in merito ai livelli di frequentazione dei vari spazi urbani con pesi da 1 a 5, opportunamente incrementati se necessario, mantenendo la loro articolazione in cinque range per definire la vulnerabilità come: Molto alta, Alta, Media, Bassa e Molto Bassa, oppure raggruppandoli in tre range che definiscono la vulnerabilità come: Alta, Media e Bassa. La classificazione degli spazi urbani nei diversi range permette di metterli in ordine di priorità.

Per l'esemplificazione vale quanto già redatto per l'analisi delle ondate di calore (Par. 7.6.6 Valutazione speditiva delle ondate di calore a Cave in: Parte IV - Il caso di studio) mentre per la riduzione a tre range vale quanto descritto nell'approfondimento tematico (Par. 7.8.4 Isole di calore a Cave in: Parte IV - Il caso di studio).

3.8.3.3. La valutazione del rischio "isole di calore"

La concomitanza di pericolosità e vulnerabilità negli spazi urbani analizzati indica dove si presenta il rischio di effetti negativi, dovuti alla presenza di isole di calore, sul comfort termico degli utenti ($P \times V = R$); il livello di tale rischio dipende dai livelli di pericolosità e vulnerabilità riscontrati nei vari spazi urbani. È importante quindi classificare tali spazi in funzione del livello di rischio riscontrato in ognuno di essi, stilando una graduatoria, in ordine di priorità decrescente, da utilizzare per decidere dove intervenire in via prioritaria al fine di prevenire e mitigare tale rischio, in modo da garantire agli utenti un comfort termico accettabile.

Nell'analisi sulle ondate di calore, si era data la possibilità di valutare il grado di vulnerabilità degli spazi urbani

considerati, basata sulla loro frequentazione, in tre o cinque livelli; si era poi fatta una esemplificazione con una classificazione a cinque livelli, che si adattava meglio anche alla classificazione della pericolosità. Poiché, per poter operare la valutazione del rischio è necessario utilizzare una scala comune per i due fattori, vulnerabilità e pericolosità, se anche nell'analisi di approfondimento sulle isole di calore si utilizza la valutazione della vulnerabilità degli spazi urbani in cinque livelli, è necessario normalizzare i valori utilizzati per la valutazione della pericolosità in modo da portarli ad una scala comune, cioè a 5 livelli: Molto alta - Alta - Media - Bassa - Molto Bassa; in alternativa, si può invece ridurre la valutazione della vulnerabilità a 3 livelli, in modo da mantenere la valutazione della pericolosità in 3 range: Alta - Media - Bassa.

Data questa premessa, per definire i livelli di rischio connessi alla presenza di isole di calore, si redige una tabella finale che riporta in verticale gli spazi urbani considerati, in orizzontale i risultati della valutazione del grado di pericolosità e del grado di vulnerabilità, da 1 a 3 o da 1 a 5; i valori finali, ottenuti dalla moltiplicazione di ogni coppia di valori, permettono di classificare gli spazi urbani analizzati; articolando tali valori in 3 o 5 range, corrispondenti a 3 livelli di rischio: Alto - Medio - Basso o a 5 livelli di rischio: Molto alto - Alto - Medio - Basso - Molto Basso, è possibile elencare i vari spazi seguendo un ordine di priorità, dal livello di rischio più alto al più basso. Anche in questo caso tale graduatoria può guidare la scelta degli spazi su cui intervenire in modo prioritario.

L'esemplificazione su un caso di studio (Cave) è esplicativa per quanto riguarda la tabellazione e la valutazione (Par. 7.8.4 Isole di calore a Cave in: Parte IV - Il caso di studio).

3.9. I dati: reperimento, finalità, uso. Alcune considerazioni⁹

Giovanna Spadafora, Mauro Saccone, Allegra Eusebio

Nell'ambito della presente ricerca, il gruppo di lavoro si è confrontato sul tema dei dati che - in generale - ciascun ambito disciplinare utilizza nello studio e nelle valutazioni dei rischi sul patrimonio urbano e territoriale. Ne è nata una riflessione sulla quantità dei dati digitali oggi disponibili, sulla possibilità di accedervi e sulla necessità di orientare in maniera proficua le nuove acquisizioni, che a volte risultano ridondanti rispetto ai dati già a disposizione e soprattutto comportano un impiego di risorse economiche, umane e di tempo spesso non necessario. I dati presi in considerazione in questa fase di ricognizione riguardano sia quelli necessari alle valutazioni speditive di tipo qualitativo sia quelli utili agli approfondimenti con indagini successive, da condurre sulle aree prioritarie di intervento. Il gruppo di ricerca ha, quindi, lavorato con l'obiettivo di verificare, da una parte, la possibilità di sperimentare ulteriori interazioni interdisciplinari nelle singole analisi dei rischi e, dall'altra, di dedurre quali dati risultino necessari a più discipline nelle valutazioni considerate.

Il lavoro ha consentito di evidenziare quali dati dovrebbero essere considerati prioritari, sin dall'avvio delle prime valutazioni di tipo qualitativo, guidando i Comuni a orientare al meglio le attività di acquisizione dei dati.

Per raggiungere questi obiettivi, è stata elaborata una tabella in formato excel, nella quale i gruppi disciplinari che si occupano della valutazione dei rischi considerati nel presente progetto hanno elencato i dati loro necessari e di questi è stata specificata la *Scala* (ovvero se il dato è riferibile alla scala urbana, a quella dell'edificio, alla scala territoriale o a più scale) e la *Reperibilità*, ovvero se i dati siano da acquisire sul posto o se siano già disponibili su fonti *Open Access*. Nella tabella è stata, inoltre, specificata anche la *Fonte* dei dati: ad esempio, per i dati Open si è indicato quali siano i relativi portali on line, e per altri è stato precisato se il dato è prodotto da amministrazioni locali o regionali (ed eventualmente da altri enti o istituzioni) o se è reperibile presso gli archivi storici. Nelle colonne successive della tabella è stato specificato dove sia possibile trovare i dati e poi il loro *Formato*, ovvero se il dato di cui si tratta sia raster, vettoriale o testuale/tabellare. All'interno della tabella, sono stati indicati anche i dati necessari allo studio del patrimonio edilizio e del territorio. I risultati sulle analisi dei dati inseriti nella tabella e le deduzioni utili ai fini del protocollo sono dettagliatamente descritti ed espressi nei grafici inseriti all'interno dei paragrafi che seguono.

3.9.1. Fonti dei dati per l'analisi dei rischi

Il lavoro di ricognizione è iniziato considerando, in generale, i dati necessari alle valutazioni dei rischi riferiti agli ambiti disciplinari dei componenti del gruppo di ricerca (rischio sismico, idrologico/idraulico, vulcanico, il rischio da frana, i rischi derivanti dalla presenza del gas radon, dal fenomeno delle ondate di calore e dell'isola di calore e

⁹ Il lavoro di raccolta e analisi dei dati è stato svolto dal gruppo coordinato da Giovanna Spadafora e composto da Mauro Saccone, Allegra Eusebio, Elisabetta Tortora e, nella prima fase, anche da Laura Farroni e Silvia Rinalduzzi. Il testo rielabora e amplia il report scritto da Giovanna Spadafora, Allegra Eusebio e Mauro Saccone.

dal rilascio di gas dal sottosuolo). Analizzando la provenienza dei dati è emersa una classificazione che li vede distinti in due grandi famiglie: la prima è rappresentata dai dati che possono essere ottenuti dalle istituzioni che operano sul territorio regionale o dalle banche dati open¹⁰, alla seconda appartengono i dati che devono essere raccolti sul posto attraverso sopralluoghi, indagini, misurazioni, valutazioni, etc.

Su 89 tipi di dati diversi, raccolti nella tabella, è emerso che circa il 50% riguarda dati da acquisire con indagini specifiche sul posto (Fig. 1), ma questo, di contro, significa che almeno la metà dei dati necessari alle valutazioni dei rischi che abbiamo considerato è già disponibile accedendo alle giuste banche dati o alle giuste fonti. Questo consente una prima considerazione: il comune interessato alla realizzazione di una analisi del rischio multi-hazard può costruire in prima battuta una banca dati open dalle fonti disponibili e formare il personale interno dedicato al loro utilizzo, in modo da garantire la creazione di un sistema di riferimento comune a tutte le analisi programmate (cfr Par. 5.2).

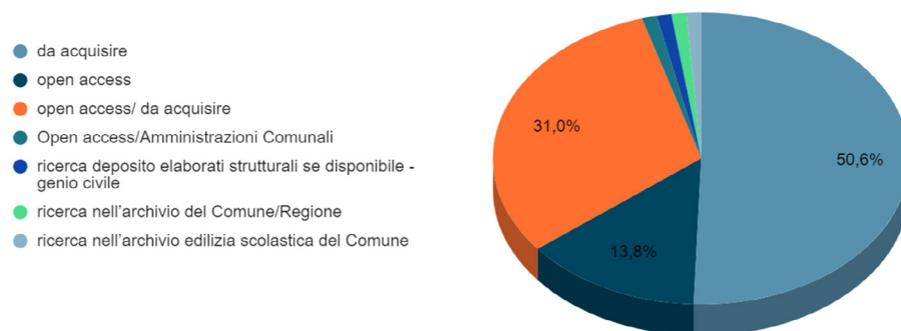


Fig. 1
Grafico relativo alla disponibilità dei dati necessari alla valutazione dei rischi considerati dal gruppo di ricerca.

Le 45 banche dati, inserite dal gruppo di ricerca nella tabella excel, fotografano la frammentazione delle fonti all'interno delle quali sono collocati i dati attualmente disponibili, situazione che la già direttiva INSPIRE¹¹ cerca di risolvere proponendo di convogliare tutto in una banca dati comune. La fonte indicata come principale riferimento, dalla maggior parte dei gruppi di lavoro, è *open data lazio* (<https://dati.lazio.it/>) dove si trovano la Carta Tecnica Regionale e la Carta dell'Uso del Suolo (Corine Land Cover - dati sulla copertura e sull'uso del suolo); a seguire è stato indicato il sito dell'IGM, che fornisce sia DTM sia foto aeree, ma a pagamento, e il Geoportale Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/mattm/>) nel quale è possibile trovare i dati che si trovano sul sito dell'IGM ma disponibili in download o in consultazione, come servizi WMS o WFS. La terza banca dati più importante, ai fini degli studi che il gruppo di ricerca ha svolto, è quella dell'ISPRA che contiene il Catalogo delle faglie attive e capaci (<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>) e il Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, <https://idrogeo.isprambiente.it/app/iffi?@=41.55172525894153,12.57350148381829,0>).

Queste tre fonti, da sole, contengono circa un terzo dei dati necessari ai diversi gruppi disciplinari (Fig. 2) e sono pertanto da considerarsi primarie, ovvero dovranno far parte delle fonti che i Comuni delle Aree Interne del Lazio dovrebbero consultare per la costruzione della banca dati open.

3.9.2. Scala nominale del dato

La scala di acquisizione dei dati, e quindi le scelte di campionamento, accuratezza ed espressione dei dati, è, naturalmente, determinata dalla scala delle analisi che si sceglie di condurre. Le discipline che concorrono alla valutazione dei rischi considerati in questo lavoro di ricerca adottano scale di indagine molto diverse tra loro, che vanno dalla scala dell'edificio, alla scala urbana alla scala territoriale. Alcune categorie di dati richiedono un'analisi multiscalare, considerando che a scale diverse corrispondono differenti livelli di informazione (ad esempio il dato rappresentato dal sistema delle infrastrutture viarie può essere analizzato sia a scala urbana che a scala territoriale).

Degli 89 tipi di dati necessari alle analisi, inseriti nella tabella di lavoro, circa il 10% fa riferimento alla scala territoriale, una piccola percentuale fa riferimento alla scala urbana mentre la maggior parte dei dati, corrispondenti a circa il 50% del totale, si riferisce ad entrambe. I gruppi di lavoro che adottano queste scale di indagine sono afferenti

¹⁰ La Direttiva Europea 2007/2/CE, che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE), va nella direzione di organizzare in maniera sempre più efficiente sia a livello delle singole Nazioni che europeo, l'accesso, l'interoperabilità e la condivisione dei dati territoriali.

¹¹ Vedi nota 9 Par. 2.3.

Fig. 2

In alto, i dati interdisciplinari e, in basso, quelli utilizzati dalle singole discipline nelle analisi del rischio.

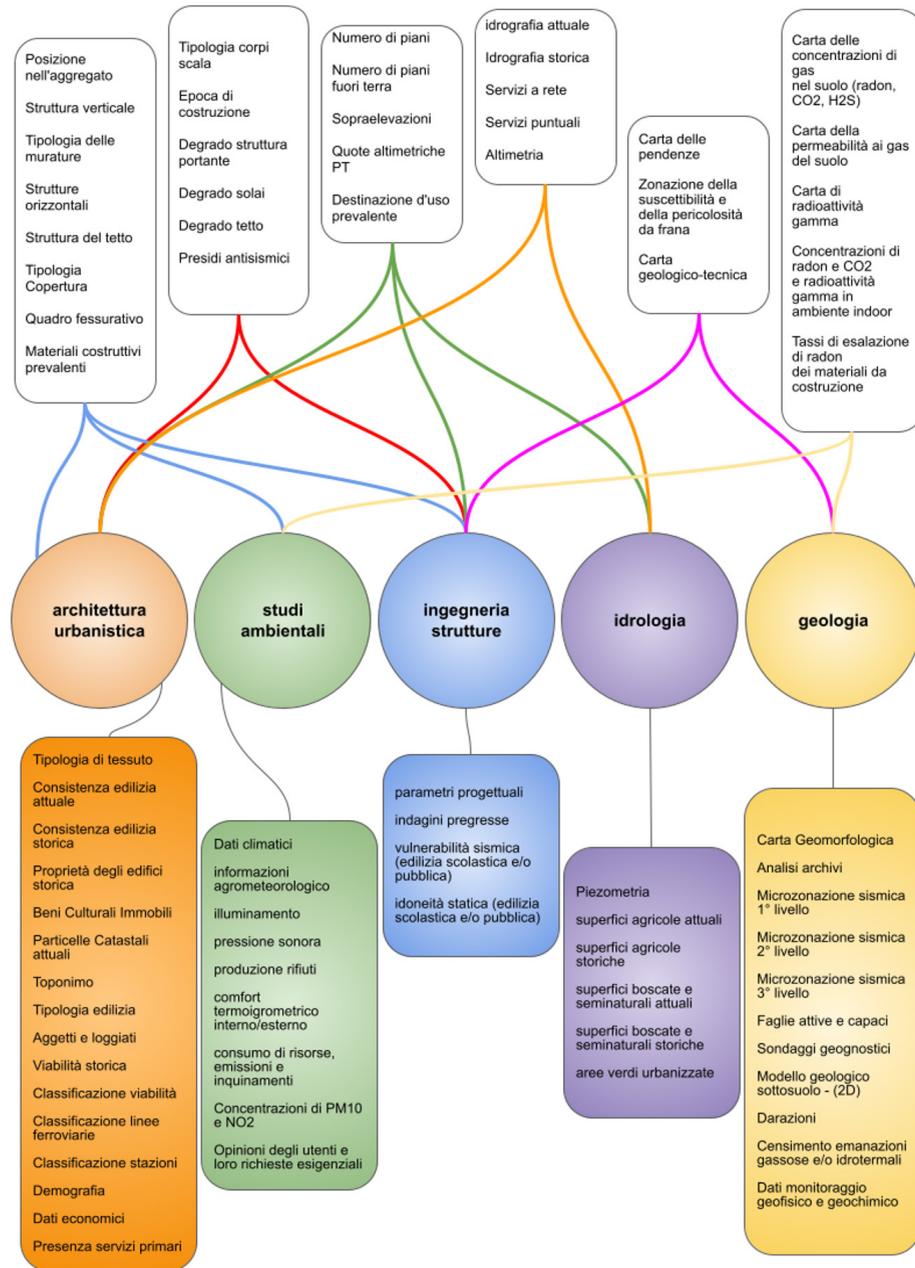
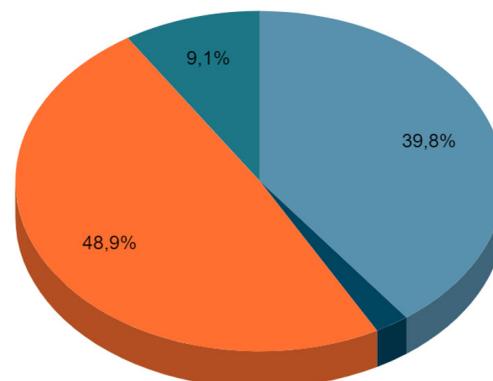


Fig. 3

Grafico relativo alle percentuali delle scale nominali dei dati considerati nella ricerca.

Scala nominale del dato

- Scala dell'edificio
- Scala Territoriale
- Scala Territoriale/Scala Urbana
- Scala Urbana



Tipologia e formato - elenco dati

- Testuale
- Raster
- Raster/Vettoriale
- Tabellare
- Testuale/Tabellare
- Vettoriale
- Vettoriale/Tabellare

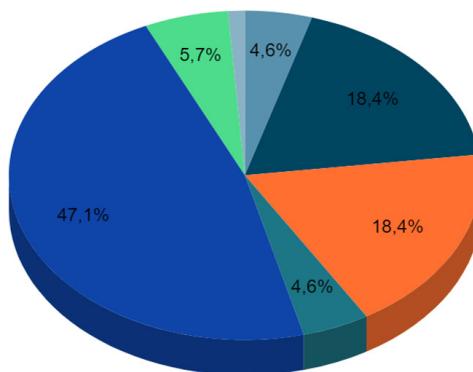


Fig. 4
Grafico relativo alle tipologie e al formato dei dati analizzati.

agli studi sui fenomeni ambientali, al restauro e al rilievo, alla pianificazione territoriale e urbana, alla geologia e alla idrologia. I dati rimanenti, che rappresentano circa il 40% del totale, sono invece riferiti alla scala dell'edificio e oltre ad essere utilizzati anche dai gruppi di lavoro che conducono studi sulla pianificazione territoriale, studi ambientali e sul restauro urbano, sono utilizzati dal gruppo di lavoro che si occupa di analisi sulle strutture, in relazione alle valutazioni del rischio sismico.

Quanto descritto dimostra che i dati alla scala territoriale e urbana sono di fatto trasversali a molte indagini e ciò consente di programmare e condurre attività di acquisizione dati che possano tornare utili a diversi livelli di indagine e per la valutazione di più fenomeni di rischio (Fig. 3).

3.9.3. Tipi e formato

I formati dei dati possono ricondursi a tre principali categorie: raster, vettoriali o testuali. Questi ultimi possono essere poi rappresentati sotto forma di tabelle o di documenti. Naturalmente, lo stesso tipo di dato può essere utilizzato e acquisito in formati diversi: ad esempio la cartografia può essere acquisita sia in formato vettoriale che raster, a seconda della fonte e dell'uso cui è destinata. Degli 89 tipi di dati inseriti in tabella dal gruppo di lavoro, quasi il 50% è disponibile in formato testuale o tabellare, il che consente di utilizzarli per valutazioni di tipo statistico (Fig. 4). Di questi dati tabellari, quindi, alcuni forniscono informazioni a sé stanti, altri assumono significato se riferiti a indagini specifiche.

Una larga porzione di dati, rappresentati da cartografia attuale e storica, si trova invece in formato raster, essendo stata acquisita mediante scansioni di documenti, mappe o progetti cartacei.

Per quanto riguarda la cartografia e le mappe, è frequente trovare inoltre il formato congiunto raster/vettoriale, soprattutto per quanto riguarda la cartografia attuale. Spesso infatti quest'ultima viene prodotta sotto forma di cartografia numerica o rappresentazione grafica di database spaziali e poi esportata in formato immagine per esigenze di trasferimento o facile lettura.

Infine, circa il 6% dei dati che si presenta in formato esclusivamente vettoriale è scaricabile da banche dati open source.

Una ulteriore analisi dei tipi di dato restituisce una suddivisione in due grandi gruppi: circa il 50% dei dati è di tipo cartografico, rappresenta cioè un luogo o parte del territorio comunale, il restante 50% dei dati è di tipo testuale e spesso è collegato alla porzione di territorio analizzata.

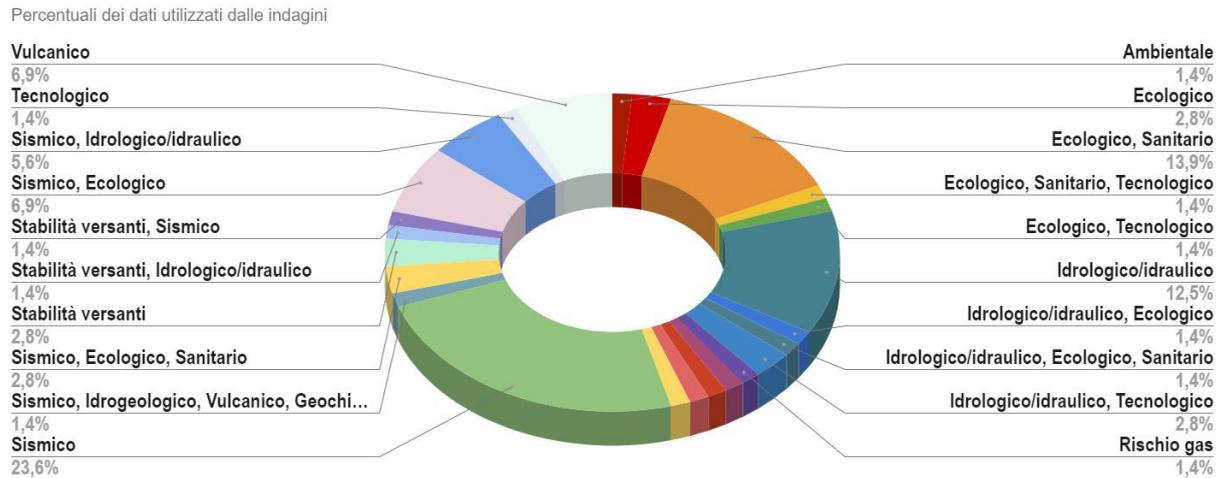
Questa considerazione conferma la necessità di creare e utilizzare un GIS, che è lo strumento in grado di gestire e associare mappe e informazioni in un sistema organico.

Il risultato del lavoro di raccolta e analisi dei dati ha consentito di avviare un proficuo confronto interdisciplinare sul tema della presente ricerca, sia nella fase di valutazione dei rischi (ad esempio nella valutazione del rischio sismico si è tenuto conto delle indagini geologiche relative alla microzonazione sismica e alle analisi condotte sulla lettura del tessuto urbano e delle tipologie edilizie, utili – queste ultime – anche nella valutazione del rischio radon e in quella dell'isola di calore) che nelle considerazioni sulle metodologie da adottare per la loro prevenzione e mitigazione.

3.9.4. Dati necessari alle valutazioni dei rischi considerati nella ricerca

Dall'analisi dei dati che i gruppi di lavoro coinvolti in questo progetto di ricerca, hanno indicato come necessari ai fini della valutazione dei rischi naturali e ambientali, nei centri storici delle Aree Interne del Lazio, è emerso che la maggior parte dei dati indicati sono funzionali alla valutazione dei diversi tipi di rischio mentre altri, poco più del 10%, pur non contribuendo direttamente alla valutazione del rischio, stante il diverso grado di approfondimento, ne possono però implementare proficuamente la valutazione.

Fig. 5
Rispetto alla totalità dei dati presi in considerazione dal gruppo di ricerca, il grafico mostra le percentuali utilizzate nelle diverse valutazioni dei rischi.

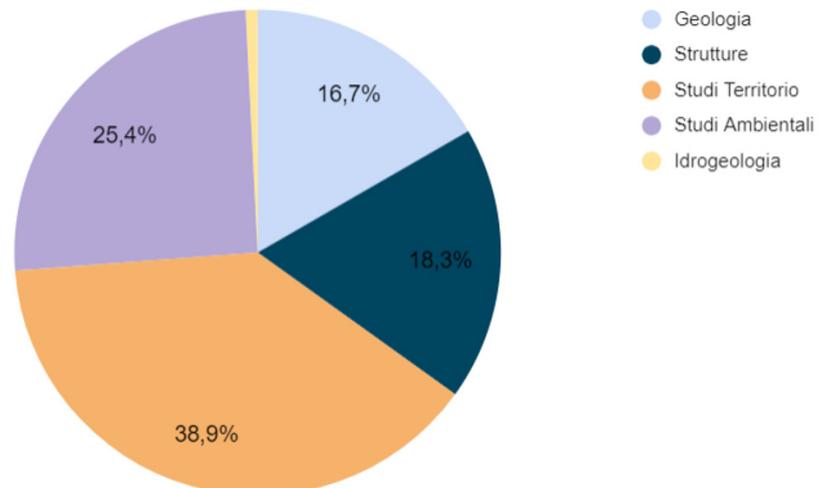


Il grafico in figura 5 mostra come circa il 25% dei dati inseriti sia utilizzato per la valutazione del rischio sismico (ovvero sia utilizzato per le indagini geologiche preliminari alla valutazione del rischio e per la valutazione del rischio riferito alle strutture edilizie e alle infrastrutture viarie), percentuale uguale a quella dei dati utilizzati, complessivamente, nelle valutazioni del rischio ambientale, ecologico e sanitario. Pertanto, solo per queste due valutazioni del rischio si usa il 50% dei dati elencati nel grafico.

Il contributo delle discipline che si occupano di pianificazione urbana e territoriale e di rilievo e restauro dei centri storici – che abbiamo raggruppato sotto la voce *Studi sul territorio* – è assente in questo grafico poiché non interviene nelle valutazioni del rischio, ma mostra, invece, la sua importanza nel secondo grafico (Fig. 6), poiché esse forniscono il 40% dei dati che poi saranno utilizzati dagli altri gruppi disciplinari che si occupano della valutazione dei rischi.

Dall'analisi combinata dei dati emerge un elemento rilevante: pochi, tra i dati considerati, sono specifici e riguardano solo una disciplina ed una valutazione del rischio, molti altri sono trasversali, vengono presi in considerazione nel calcolo di più fattori di rischio e pertanto la loro acquisizione appare prioritaria nell'ambito degli interventi di prevenzione dei rischi naturali e ambientali (vedi grafico Fig. 7).

Fig. 6
Il grafico mostra il contributo dei diversi settori disciplinari nella raccolta dei dati utili alle valutazioni del rischio.



Risulta, ad esempio, prioritaria l'acquisizione o l'aggiornamento della carta geologico-tecnica, che costituisce la base per le valutazioni del rischio da frana e del rischio da radon, così come la mappatura delle funzioni al piano terra è utile per le valutazioni del rischio da radon e per quello delle ondate di calore. L'individuazione dei materiali costruttivi prevalenti, delle tipologie strutturali, della posizione degli edifici nell'aggregato e quella della presenza di aree verdi urbanizzate e alberature stradali, sono anch'essi dati prioritari in quanto utili a più valutazioni del rischio, ma vengono utilizzati nelle successive analisi di approfondimento, finalizzate alla valutazione quantitativa del rischio.

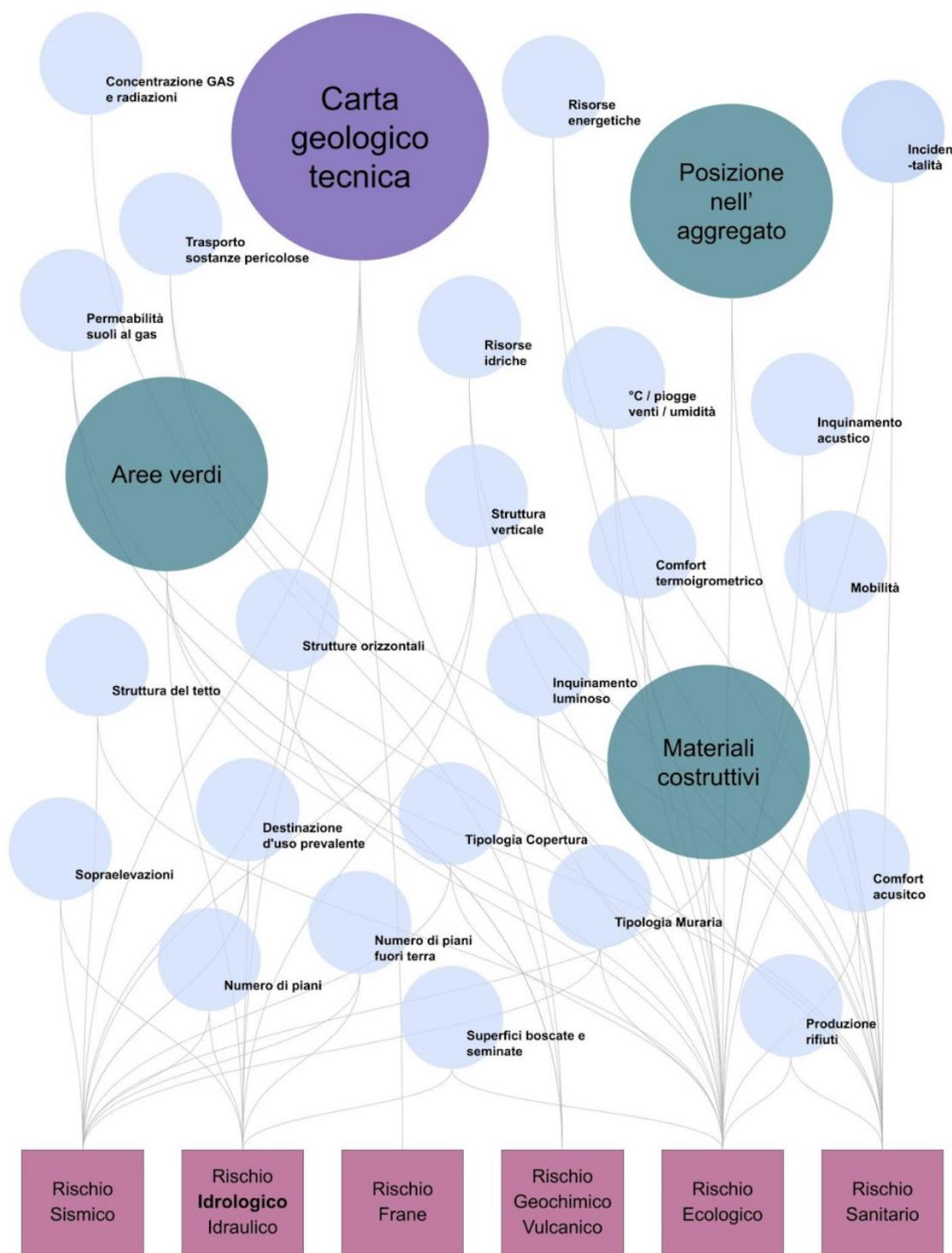


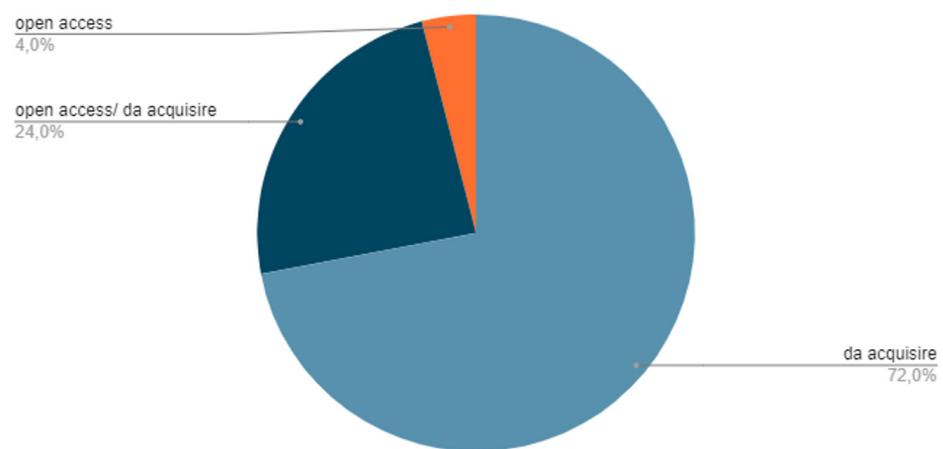
Fig. 7
La figura mostra quali dati siano comuni a più valutazioni del rischio. La loro acquisizione favorisce una pluralità di analisi e pertanto è da considerarsi prioritaria.

Come già anticipato, circa la metà dei dati necessari alle valutazioni del rischio è disponibile presso banche dati open access. Restringendo però l'analisi ai soli dati prioritari, fondamentali ai fini delle valutazioni del rischio, la percentuale di quelli disponibili scende al 28%, pertanto, risulta necessario un investimento economico, da parte dei Comuni per la loro acquisizione e/o aggiornamento (Fig. 8).

Fig. 8

Il grafico mostra come, tra i dati identificati come prioritari, quelli disponibili presso banche dati open access siano soltanto il 28%.

Fonte dei dati prioritari



4 La valutazione combinata dei rischi

4.1. Principi generali e definizioni

Elena Volpi

L'analisi multirischio deve basarsi sull'analisi delle pericolosità naturali e indotte dall'uomo (Gill, Malamud, 2017) presenti nel territorio in esame. In particolare, la valutazione multirischio prevede di considerare sull'area di riferimento tutti le possibili cause rilevanti di rischio (terremoto, frane, allagamenti, ecc.), la loro mutua interazione (ad esempio terremoto e frane sono spesso legati tra loro), e di valutare il rischio in uno specifico intervallo di tempo (Kappes *et al.*, 2012). È importante sottolineare che il rischio derivante da diverse cause non può generalmente ottenersi come la somma dei singoli rischi che insistono sull'area di studio, in quanto i rischi possono essere correlati e influenzarsi fra di loro (e.g. (Marzocchi, Di Ruocco, Mastellone, 2012; (Liu, Siu, Mitchell, 2016). A tal proposito è necessario chiarire il significato di alcuni termini, che vengono spesso utilizzati impropriamente. In particolare, è opportuno distinguere il termine multi-hazard risk dal termine multi-risk. Nel primo caso (multi-hazard risk) si tratta di valutazioni inerenti allo stesso tipo di rischio (economico, morte, etc.) causato però da fenomeni naturali differenti: le relative azioni vengono opportunamente combinate e quantificate con l'ausilio di indici di rischio globale in grado di mettere in conto tutti i fenomeni analizzati e le loro mutue interazioni (Biswas, Baruah, 2015); non si tiene pertanto conto delle interazioni a livello di vulnerabilità. Tale tipo di analisi è quella cui si fa riferimento a seguire (dove non specificato diversamente), indicandola genericamente come analisi multirischio. Nel secondo caso (multi-risk), si tratta invece di combinare rischi di natura diversa, tenendo conto delle interazioni in termini di vulnerabilità, come ad esempio il rischio di incidente rilevante in un'industria chimica con il rischio da eventi naturali come il terremoto, condizione multi-rischio nota in letteratura come rischio di tipo Na-Tech (Caputo *et al.*, 2019).

L'analisi multirischio (multi-hazard risk) deve pertanto basarsi su un confronto quantitativo dei diversi tipi di rischio; una lista, non esaustiva, dei possibili tipi di rischio da considerare nell'analisi multi-hazard risk o multirischio è riportata a seguire.

- disastri naturali: allagamenti dovuti a precipitazioni intense; esondazioni dei corsi d'acqua; attività sismica (terremoti); movimenti di massa sui versanti (frane); incendi boschivi; eruzioni vulcaniche; condizioni climatiche eccezionali (freddo, caldo, siccità); emissione di gas nocivi dal suolo in condizioni indoor e outdoor;
- rischi tecnologici: incidenti derivanti da produzione, uso, stoccaggio e trasporto di sostanze pericolose (infiammabili, esplosive, tossiche); incidenti nucleari/radiologici; interruzione di reti di pubblica utilità (gas, elettricità, acqua potabile, trattamento acque reflue); interruzione di reti informatiche e di telecomunicazione. In particolare, per il trasporto/stoccaggio di sostanze pericolose: movimentazione dei prodotti infiammabili, combustibili, tossici, etc.; presenza di materiali/prodotti combustibili; presenza di materiali/prodotti potenzialmente inquinanti; ricevimento, trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica; impianti di climatizzazione/riscaldamento/raffrescamento; impianti di cogenerazione; impianti di trattamento reflui;
- rischi legati al trasporto: incidenti aerei; incidenti nautici; incidenti ferroviari; incidenti stradali;
- salute pubblica: epidemie; esposizioni a lungo termine ad elementi nocivi;
- rischi sociali: sommosse civili; manifestazioni di panico collettivo.

Il Global Risk Report 2018, un documento redatto dal World Economic Forum (WEF, 2018) sulla base dei risultati del Global Risk Perception Survey, questionario somministrato a 1000 esperti del settore, i principali rischi da considerare oggi sono:

- gli eventi meteorologici estremi (ondate di calore, piogge torrenziali, straripamento di corsi d'acqua, tempeste di vento, frane, siccità, incendi boschivi, valanghe, grandinate, mareggiate);
- la perdita di biodiversità e il collasso dell'ecosistema;
- i grandi disastri naturali;
- i disastri ambientali generati dall'attività antropica;
- il fallimento della mitigazione e dell'adattamento ai cambiamenti climatici.

Mentre per molti singoli fenomeni naturali (e non) sono disponibili una moltitudine di approcci consolidati, tra l'altro fra loro differenti, gli studi che analizzano insieme differenti cause di rischio sono relativamente pochi e, ovviamente, potenzialmente molto più complessi; in effetti non esistono ancora procedure standardizzate per analizzare e gestire le comuni condizioni di pericolosità multipla. La scelta dei metodi da applicare dipende in generale dall'obiettivo dell'analisi e dalla disponibilità di informazioni. Uno stato dell'arte piuttosto completo su tali temi è stato fornito da Kappes *et al.* (2012), Gallina *et al.* (2016) e da Poljanšek *et al.* (2017); per una descrizione sintetica dei progetti nazionali ed internazionali che affrontano il tema dell'analisi multirischio per le finalità di pianificazione e di gestione sopra descritte si rimanda al Paragrafo 4.3.

Rispetto allo studio di singoli fenomeni, basati sulle procedure consolidate di cui si è già fatto cenno al paragrafo 3 che si fondano sulla formula di Varnes (1984), l'analisi multirischio deve inoltre prevedere un metodo per la standardizzazione delle quantità che misurano l'intensità dei fenomeni calamitosi e la loro probabilità di accadimento, in modo tale da poter rendere la pericolosità dei diversi processi confrontabile, tenendo conto dell'eventuale interdipendenza dei fenomeni. Essa deve inoltre tenere conto della differente vulnerabilità degli elementi esposti ai diversi fenomeni calamitosi.

Una volta definite le scale spaziali (estensione dell'area di riferimento e livello di dettaglio richiesto o unità territoriale minima) e temporali di riferimento, la standardizzazione delle grandezze può essere effettuata tramite una valutazione qualitativa (a), basati su indici o classi, o quantitativa (b). Entrambi gli approcci possono essere utilizzati per analisi di scenario (Carpignano *et al.*, 2009) o di rischio (Van Westen *et al.*, 2012). Inoltre, i metodi quantitativi (o semi-quantitativi) sono stati proficuamente utilizzati in letteratura ai fini decisionali (Komendatova *et al.*, 2014); a tale proposito, una interessante disamina degli approcci decisionali a seguito di analisi multi-rischio si trova in Pilone *et al.* (2019).

Nella valutazione qualitativa (a), la pericolosità di una singola zona dovuta ai differenti processi che insistono su di essa, deve essere ottenuta dalla combinazione delle singole pericolosità tramite schemi predefiniti (in base alla tipologia di processo) più o meno complessi (e.g. Kunte *et al.*, 2014); un metodo semplice consiste nell'adottare per l'area di studio l'indice o la classe di pericolosità massimi fra quelli dei processi analizzati. In tal modo il rischio, combinazione di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione è semplicemente il prodotto di tre indici relativi ai tre aspetti. Questo approccio ha il difetto di dover definire delle classi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione e quindi delle soglie che in genere sono di natura soggettiva. I metodi basati sulla classificazione soffrono pertanto di una certa soggettività e specificità del caso, che possono essere superate adottando invece un approccio quantitativo (b).

Le metodologie di natura quantitativa (b) forniscono una valutazione quantitativa del rischio in termini sia di perdite economiche che di perdite di vita umana, e sono piuttosto flessibili perché permettono di implementare differenti metriche a seconda delle esigenze del decisore. Esistono alcuni esempi in letteratura di approccio quantitativo (Chen *et al.*, 2016), in cui la pericolosità delle diverse cause di rischio vengono combinate linearmente tramite coefficienti che misurano l'importanza delle conseguenze, ossia assumendo l'indipendenza degli eventi. Tuttavia, gli eventi naturali possono influenzarsi vicendevolmente, combinandosi generalmente in maniera non lineare, determinando pertanto condizioni di pericolosità e di rischio ben differenti da quelle ottenute ignorando tale legame. Tipicamente il realizzarsi di un certo evento naturale (ad esempio un terremoto) può innescare o modificare la probabilità e/o l'intensità con cui se ne verifica un altro (es. una frana o un maremoto); per cui tali eventi non possono considerarsi statisticamente indipendenti e la pericolosità dipende dalla probabilità congiunta dei due fenomeni. L'interazione fra i fenomeni è molto difficile da valutare; lo sviluppo di metodologie appropriate rappresenta ad oggi un campo di ricerca ancora aperto.

Qualora non sia opportuno o praticabile individuare indici standard per la pericolosità (intensità e probabilità degli eventi), l'analisi multirischio può essere condotta combinando direttamente il rischio conseguente a ciascun evento catastrofico invece che combinando le rispettive pericolosità. I singoli rischi dipendono dalla vulnerabilità degli elementi a rischio rispetto ai singoli fenomeni, che è chiaramente influenzata dalle caratteristiche (inclusa l'evoluzione spazio-temporale) degli eventi.

Il metodo più diffuso per valutare la vulnerabilità degli elementi a rischio rispetto alle singole o multiple forzanti consiste nell'utilizzo di curve, matrici o metodi basati su indicatori "fisicamente-basati". Le curve di fragilità o danno sono generalmente utilizzate per eventi che hanno conseguenze diffuse sul territorio, in quanto garantiscono una mole di osservazioni sufficiente alla calibrazione di tali curve, e forniscono un'informazione continua; le matrici invece richiedono una quantità minore di dati per la classificazione della vulnerabilità. Infine gli indici, contrariamente ai primi due approcci, consentono generalmente di includere più descrittori per l'elemento a rischio (es. tipologia strutturale ed età di un singolo edificio). È opportuno che per ciascun tipo di fenomeno considerato si adotti la stessa metodologia di stima della vulnerabilità e che per ciascun elemento esposto si tenga conto delle possibili interazioni fra i fenomeni considerando l'esposizione multipla contemporanea o in cascata in un breve intervallo di tempo.

Nella combinazione dei rischi si deve definire a priori il tipo di rischio che si vuole computare (o i tipi diversi di rischio), diretto o indiretto, economico, ambientale, sociale, ecc. Anche nel caso della combinazione dei rischi (invece che delle vulnerabilità) si possono applicare metodi di valutazione qualitativa (basati sulla classificazione) o quantitativa. In entrambi i casi emerge chiaramente come la valutazione multirischio, qualitativa o quantitativa, sia caratterizzata da un'elevata incertezza di stima dovuta all'intrinseca aleatorietà degli eventi calamitosi considerati, alla loro interrelazione e rarità, alla generale carenza di informazione disponibile e all'utilizzo di modelli semplificati, basati anche su scelte soggettive, per la descrizione di fenomeni complessi e fortemente non lineari. Si noti che la tipologia, quantità e qualità delle informazioni disponibili, assieme agli scopi specifici per cui l'analisi multirischio viene svolta, generalmente guida il processo di definizione dell'approccio modellistico da utilizzare. La valutazione multirischio deve tenere conto infine del carattere evolutivo delle diverse componenti, incluso quello dovuto alla mutua interrelazione; fra i fattori determinanti la crescente interrelazione e la dinamica dei diversi tipi di rischio risultano determinanti la globalizzazione e il cambiamento climatico (Poljanšek *et al.*, 2017). Si sottolinea che nel presente studio si fa riferimento all'analisi di rischio multi-hazard; in particolare, la metodologia di analisi proposta al capitolo 5 valuta il rischio multi-hazard con un approccio cosiddetto qualitativo, ossia basato sulla classificazione, che non valuta quantitativamente il danno atteso (i.e. il rischio) in termini economici.

4.2. Strumenti operativi: piattaforme di calcolo

Elena Volpi

Numerose e diverse iniziative internazionali, quali L'Agenda 21 for Sustainable Development, l'International Decade for Natural Disaster Reduction 1990-1999, il Johannesburg Plan for Implementation, il Hyogo Framework for Action, l'International Strategy for Disaster Reduction e, non ultima, il Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, hanno promosso lo sviluppo di metodologie operative per l'analisi multirischio (Poljanšek *et al.*, 2017). Tali iniziative costituiscono il quadro normativo e politico di riferimento internazionale, fra i cui attori principali contano l'Office for Disaster Risk Reduction delle Nazioni Unite (UNISDR) e il Joint Research Centre (JRC) (Poljanšek *et al.*, 2017). In questo quadro di riferimento sono stati finanziati e sviluppati numerosi progetti (per la descrizione dei progetti finanziati dalla Comunità Europea si rimanda al paragrafo successivo, 4.3) e piattaforme di calcolo per la valutazione multirischio, anche a livello regionale. Fra i progetti regionali è doveroso menzionare il Cities Project for Geohazards in Australian Urban Communities (Middelmann, Granger, 2000), il RiskScape Project in Nuova Zelanda (by the Research Organizations GNS Science and the National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd. (NIWA); Schmidt *et al.*, 2011) e le piattaforme HAZUS (FEMA, 2011) e CAPRA (Comprehensive Approach to Probabilistic Risk Assessment; Marulanda *et al.*, 2013) per la valutazione multirischio negli Stati Uniti e in America Centrale. RiskScape, Hazus e CAPRA sono le maggiori piattaforme di calcolo attualmente disponibili per l'analisi multirischio.

La Federal Emergency Management Agency (FEMA) ha sviluppato ed adottato il software GIS-based Hazus per l'analisi multirischio negli USA; esso considera il danno potenziale indotto da terremoti, uragani, maremoto e inondazioni, calcolato adottando un approccio fisicamente-basato (per la valutazione della vulnerabilità), deterministico o probabilistico (tenendo conto dell'incertezza). In Nuova Zelanda, il software RiskScape viene utilizzato per calcolare il danno diretto ed indiretto dovuto a multiple cause naturali, fra cui piene, terremoti, attività vulcanica, onde di maremoto, tempeste di vento; esso utilizza un metodo fisicamente-basato e deterministico (ma con possibilità di estensione all'approccio probabilistico). Infine il software per l'analisi multirischio CAPRA è finalizzato alla gestione del rischio multiplo (pianificazione territoriale, analisi costi-benefici, studi per la valutazione dei premi assicurativi, comunicazione, comprensione e cooperazione con la comunità tecnico-scientifica e gli stakeholders) con metodi probabilistici fisicamente-basati; esso prevede diversi moduli per l'analisi di terremoti, uragani, precipitazioni intense, eruzioni vulcaniche, frane e piene fluviali, dove i moduli

tengono conto dell'interazione fra gli eventi (con un effetto cascata). Esistono poi molti altri software di minor diffusione ma che si avvicinano molto agli obiettivi del presente programma di ricerca. Ad esempio, Bethrellos *et al.* (2017) propongono un approccio basato sulla metodologia Analytical Hierarchy Process (AHP) utilizzando una piattaforma GIS, che permette di valutare condizioni di rischio multi-hazard e l'entità dell'interdipendenza tra i fenomeni naturali; approcci di questo tipo sono stati efficacemente utilizzati nell'ambito della valutazione del rischio in presenza di impianti con elevata probabilità d'incidente (Caprignano *et al.*, 2010).

4.3. Progetti nazionali e internazionali sull'analisi multirischio

Elena Volpi

Sono diversi i progetti nazionali ed internazionali, principalmente finanziati dalla Comunità Europea, che si sono occupati specificamente di analisi multirischio.

I progetti TIGRA (Del Monaco *et al.*, 1999) e TEMRAP (European Commission, 2000) sono stati fra i primi a contribuire all'omogeneizzazione delle metodologie di valutazione del rischio. Nell'ambito dell'European Spatial Planning Observation Network (ESPON) le mappe di pericolosità associate a diversi fattori di rischio naturale e antropico presenti in Europa sono state combinate basandosi sull'opinione di esperti (Schmidt-Thomé, 2005). Metodi quantitativi e probabilistici per la valutazione multihazard e multirischio sono stati inoltre sviluppati nell'ambito dei Framework Program FP6 e FP7: Na.R.As. 2004-2006 (Natural risks assessment harmonisation of procedures, quantification and information, Marzocchi *et al.*, 2009), ARMONIA 2004-2007 (Applied Multi-Risk Mapping of Natural Hazards for Impact Assessment, Del Monaco *et al.*, 2007), MATRIX 2010-2013 (New Multi-Hazard and Multi-Risk Assessment MethodS for Europe, (Liu, Siu, Mitchell, 2015), ENHANCE (Enhancing risk management partnerships for catastrophic natural disasters in Europe, EU FP7). Fra gli altri progetti finanziati dalla Comunità Europea ci sono MiSrAR (Mitigazione dei Rischi Ambientali nelle Regioni e Città Europee, INTERREG IVC), RiskNat (Rete transfrontaliera dei rischi naturali, Italy-France ALCOTRA), CHANGES (Network Marie Curie, EU), ARISTOTLE-ENHSP (European Natural Hazard Partnership), ANYWHERE (Horizon, 2020), CLUVA 2010-2013 (Bucchignani *et al.*, 2014; Garcia-Aristizabal *et al.*, 2015 a, b, 2016) e CRISMA 2012-2015 (Garcia-Aristizabal *et al.*, 2014); a livello regionale o nazionale si riportano a titolo di esempio il German Research Network for Natural Disasters (DFNK, Grünthal *et al.*, 2006), il progetto ByMuR 2011-2014 (Selva, 2013) e l'attività svolta dal Centre for Risk Studies of the University of Cambridge del Regno Unito (Coburn *et al.*, 2014). Tutti questi progetti, studi e attività hanno contribuito in modo significativo al progresso nell'analisi cercando di sviluppare metodologie condivise in Europa per produrre mappe coordinate delle pericolosità e del rischio associato a disastri naturali, limitatamente ai disastri geologici e sismici nel caso di Na.R.As., agli eventi climatici estremi, alle frane e agli incendi nel caso di ANYWHERE, ma anche rischi industriali, associati al trasporto, alla salute pubblica e sociali nell'ambito di MiSrAR. Nell'ambito di tali progetti si è inoltre cercato di migliorare e strutturare i processi di mitigazione dei rischi nell'ambito della pianificazione territoriale, attraverso la condivisione di "buone pratiche" e scambi di esperienze, così da raggiungere un certo grado di convergenza ed uniformità nella gestione territoriale dei rischi ambientali all'interno dell'UE.

Per quanto riguarda il progetto MiSrAR, è interessante sottolineare il peso che viene dato nel progetto alla comunicazione e all'indirizzo di politiche pubbliche e territoriali verso i temi di prevenzione e mitigazione del rischio; tuttavia, manca un riscontro nell'applicazione pratica del procedimento proposto ed un approfondimento sulle diversità specifiche di ogni singola nazione in relazione allo specifico sistema normativo e di pianificazione territoriale. Un approccio simile a quello utilizzato in MiSrAR, la condivisione di esperienze e buone pratiche, è proposto anche nell'ambito di RiskNat; a differenza del primo però RiskNat approfondisce da un punto di vista pratico ogni singolo caso di studio analizzato e crea una banca dati consultabile per ciascuno di essi. Il progetto MATRIX ha invece concentrato maggiormente gli sforzi dei partecipanti nell'integrazione di nuovi metodi di valutazione "multi-type", tenendo conto della comparabilità dei rischi, delle pericolosità a cascata e della vulnerabilità in funzione del tempo.

Il tema della comunicazione del rischio causato da eventi naturali e del coinvolgimento delle comunità locali è oggetto inoltre di diversi progetti sviluppati in India in collaborazione con il United Nations Development Programme (GoI-UNDP) con la doppia finalità di riduzione dei rischi naturali e adattamento ai cambiamenti climatici in atto e nell'ambito di ELLA (Environmental management – Learning Alliance on Climate Resilient Cities).

I progetti nazionali di interesse per l'analisi multirischio sono invece Proterina (CIMA), limitatamente al rischio idrogeologico e al rischio incendi e UrbiSIT (Strumenti per la valutazione della pericolosità geologica e per la realizzazione di modelli geologico-tecnici finalizzati alla microzonazione sismica) che considera fra gli eventi naturali inondazioni, frane e terremoti e realizza una piattaforma informativa territoriale per la gestione del rischio in area urbana.

È importante menzionare anche il progetto DERRIS (DisastEr Risk Reduction InSurance) i cui obiettivi sono principalmente legati a forme innovative di partnership pubblico-privato tra assicurazioni, pubbliche amministrazioni e imprese per accrescere la resilienza delle comunità locali, per diffondere una maggiore cultura del rischio (causato da disastri naturali associati ad eventi meteorici) e fornire adeguati strumenti per la prevenzione e la gestione dei rischi climatici. Infine, il progetto Edurisk ha sviluppato specifici percorsi di formazione e informazione sul rischio sismico e vulcanico.

4.4. Metodologia di valutazione multi-hazard

Fabrizio Paolacci

Come esplicitato nei paragrafi precedenti è possibile adottare diverse metodologie di analisi di rischio multi-hazard, inerenti allo stesso tipo di rischio causato però da fenomeni naturali differenti.

In quanto segue vengono proposti due differenti metodi: il Metodo di mappatura delle pericolosità, che ha lo scopo di identificare le aree di attenzione sulle quali effettuare successivamente analisi di rischio multi-hazard (e per il quale si rimanda, per maggiori dettagli, al capitolo 5) e il Metodo di valutazione multi-rischio.

4.4.1 Metodo di mappatura delle pericolosità

Tale metodo di valutazione multi-hazard si basa sull'uso degli indici impiegati per la valutazione qualitativa del rischio. Una volta che i singoli indici di rischio IR sono stati valutati come combinazione di indici specifici di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione, è possibile combinarli utilizzando specifici pesi W_i , i quali dipendono essenzialmente dalla natura degli hazard che sono alla base dei singoli rischi. In genere la combinazione viene effettuata con riferimento a periodi di esposizione comparabili (long-term o short-term risk). Nel caso di rischi di natura long-term è possibile utilizzare differenti set di indici presenti in letteratura (vedi ad esempio Kappes, 2012; El Morjani, 2007; Bathrellos *et al.*, 2017).

L'uso di tali indici è in genere destinato alla costruzione di mappe multi-hazard con le quali identificare possibili aree di attenzione (Bathrellos *et al.*, 2017). In realtà è possibile utilizzarli anche al fine di combinare i rischi associati, essendo i livelli di vulnerabilità ed esposizione già direttamente comparabili. Questo risulta evidente osservando la formula di Varnes ($R = P \times V \times E$).

Differente è il caso della combinazione di rischi di natura differente per i quali è necessario definire coefficienti di combinazione ad hoc, che facciano riferimento a parametri omogenei (Carpignano *et al.*, 2010). L'importanza reciproca di un rischio rispetto ad un altro è in genere frutto di una decisione più politico-sociale che tecnica.

In questa ricerca, la combinazione di rischi di natura differente è stata trattata in maniera speditiva, individuando le priorità di intervento per i rischi di natura long-term (terremoto, frane, inondazioni) e aggiungendo dei correttivi sulla base di un punteggio assegnato ai rischi di natura short-term (cfr. Par. 5.9 per maggiori dettagli). A valle dell'applicazione di tale metodo è possibile, in ambiente GIS, individuare differenti aree con differenti priorità di intervento (cfr. Par. 5.9). Tale strumento di natura pragmatica può essere utilmente impiegato per orientare l'uso delle risorse a disposizione.

Per la combinazione dei rischi long-term nelle valutazioni del rischio multi-hazard il progetto prevede l'uso dei pesi proposti da Bathrellos *et al.* (2017) e riportati nella seguente Tabella 1 riferita ad un ambiente urbano.

Tabella 1

I pesi proposti in Bathrellos *et al.* (2017).

The weighting coefficient of every natural hazard and the consistency ratio (CR) for the suitability of urban development.

H1 = landslide, H2 = flood, H3 = seismic.

	H1	H2	H3	weights, W_i
H1	1	3	1/2	0.333
H2		1	1/3	0.140
H3			1	0.528
CR = 0.05				

4.4.2. Metodo di valutazione multi-rischio

Tale metodo si basa sulla combinazione del rischio associato a ciascun hazard utilizzando come metrica la perdita economica associata. L'idea di base è quella di quantificare le perdite economiche associate ad uno stesso periodo di ritorno relative ai singoli hazard e poi sommarle, per ricavare le perdite economiche totali.

Le perdite economiche possono essere facilmente espresse in termini di rapporto del costo di riparazione e costo di costruzione. In tal modo è possibile parametrizzare il danno. Ad esempio, nel caso del sisma, una possibile scala di intensità del rischio è quella proposta per il sisma bonus (D.M. 58/2017) che si basa sulla valutazione della perdita annua media attesa (PAM) (Fig. 1). Le perdite economiche a cui si riferisce il sisma bonus sono quelle di natura diretta. Poiché la stima delle perdite economiche indirette risulta piuttosto complessa e incerta, nel metodo proposto si terrà conto delle sole perdite dirette.

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,50\%$	A^+_{PAM}
$0,50\% < PAM \leq 1,0\%$	A_{PAM}
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B_{PAM}
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C_{PAM}
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D_{PAM}
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E_{PAM}
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F_{PAM}
$7,5\% \leq PAM$	G_{PAM}

Minor Rischio



Maggior Rischio

Fig. 1
Classi di rischio per PAM in funzione della perdite annua media attesa.

Per la valutazione della PAM una volta note, per ogni periodo di ritorno e dunque stato di danno atteso, le perdite economiche annue totali in termini di CR (rapporto tra costo di riparazione e costo di costruzione), è possibile tracciare il diagramma seguente:

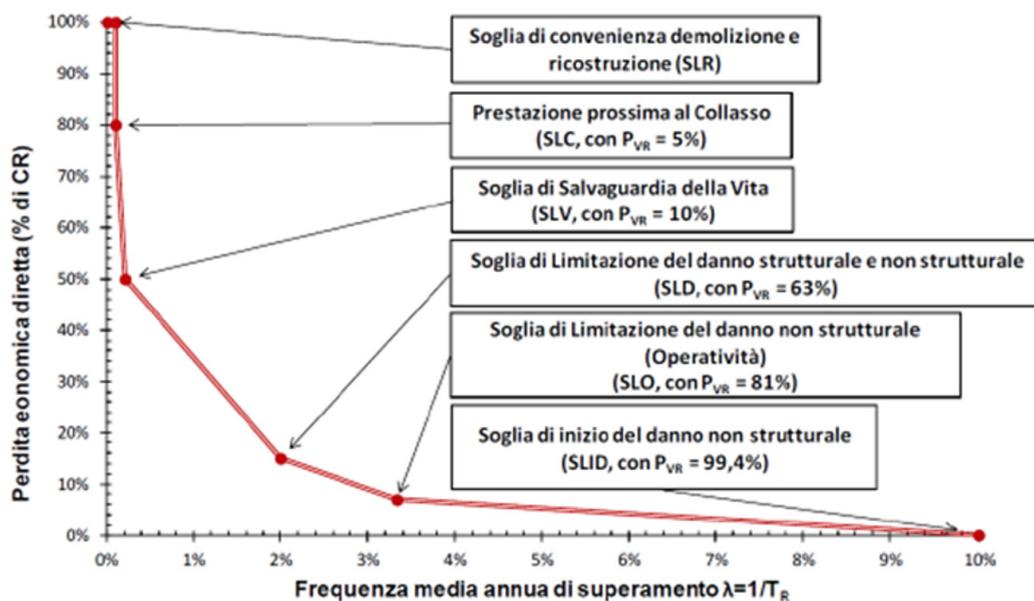


Fig. 2
Procedimento per il calcolo delle PAM.

$$PAM = \sum_{i=2}^5 [\lambda(SL_i) - \lambda(SL_{i-1})] \cdot \frac{CR(SL_i) + CR(SL_{i-1})}{2} + \lambda(SLC) \cdot CR(SLR)$$

Per definizione l'area sottesa dalla curva è la perdita annua media. La formula per il calcolo è riportata nella stessa figura, dove λ (SL) è la frequenza annua media di superamento dello stato di danno SL e CR è il costo di riparazione normalizzato (Fig. 2).

Il metodo si articola dunque nelle seguenti fasi:

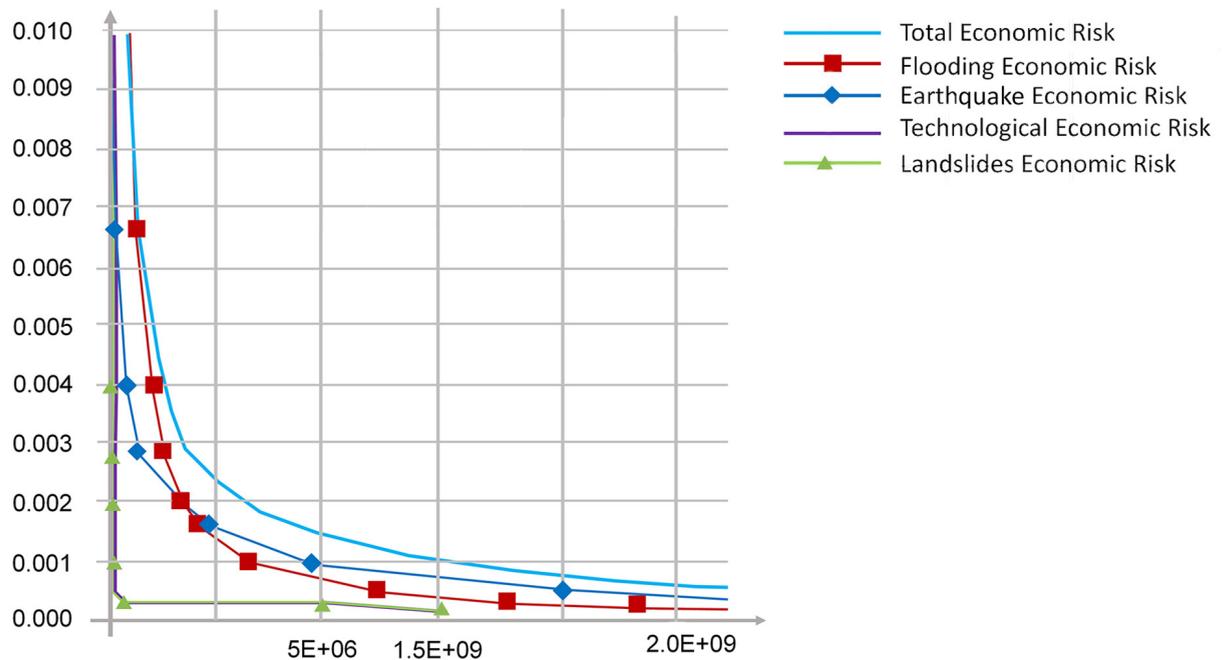
1. Si sceglie una metrica. Nel caso specifico le perdite economiche dirette espresse;
2. Si utilizza uno stesso tempo di esposizione (1 anno) per i diversi rischi;
3. Si calcola la frequenza media annua λ di ogni rischio per ogni stato di danno SL con il metodo quantitativo (vedi paragrafo 3.3);
4. Si calcola l'ammontare del danno economico in termini di CR. Per il sisma, ad esempio, la relazione tra stato di danno SL e CR è dato dalla seguente tabella (Fig. 3);

Fig. 3
Relazione tra stato di danno sismico SL e CR(%).

Stato Limite	CR (%)
SLR	100%
SLC	80%
SLV	50%
SLD	15%
SLO	7%
SLID	0%

5. Si calcola la curva di rischio che ha in ascissa il periodo di ritorno $Tr = 1/\lambda$ e in ordinata il livello di perdita diretta associata al danno SL. Sarà necessario effettuare tale operazione per ogni tipo di rischio;
6. Per ogni periodo di ritorno Tr si calcola il danno economico totale come somma dei danni legati ai singoli rischi;
7. Si calcola dunque l'integrale sotteso dalla curva di rischio totale che rappresenta la perdita economica multi-hazard totale dell'edificio;
8. A questo punto è possibile rappresentare in GIS la mappa delle perdite economiche dirette attese per ogni edificio da utilizzare per la fase decisionale. Per l'applicazione del metodo la scala delle PAM rappresentate nella figura potrebbe essere utilizzata come scala per l'implementazione della fase decisionale.

Fig. 4
Combinazione dei differenti rischi in termini di CR.



PARTE III
INDICAZIONI OPERATIVE

5 Metodologia operativa per l'individuazione delle priorità d'intervento

5.1. Premessa

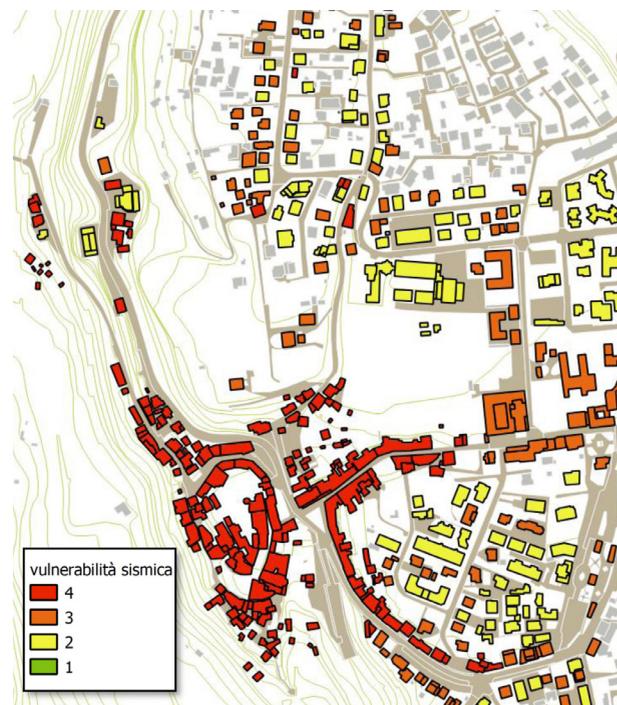
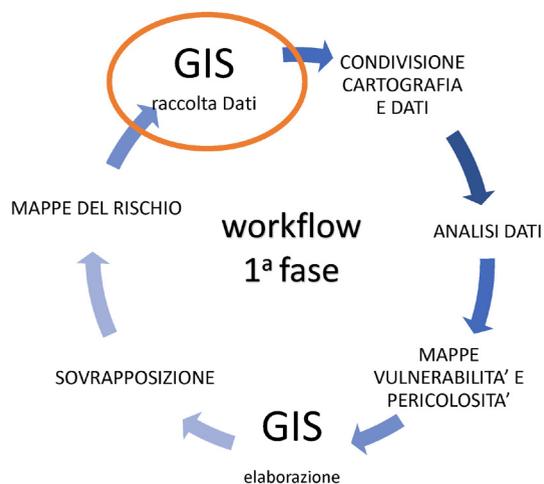
Giovanna Spadafora, Mauro Saccone

La procedura operativa proposta, che prevede una valutazione del rischio multi-hazard, consente di individuare all'interno di un GIS le aree di attenzione, ovvero le aree definite da un insieme di edifici e infrastrutture sui quali insistono più fattori di rischio. Per definire le priorità di intervento, alle aree di attenzione vengono sovrapposte le SUM identitarie e funzionali e, in ultimo, vengono introdotte le valutazioni dei rischi short-term, attraverso una metodologia che consente di non modificare le classi di priorità, ma di stabilire una ulteriore priorità all'interno della stessa classe.

Il risultato finale della procedura consente quindi agli amministratori comunali di avere, in prima battuta, un quadro conoscitivo generale dei rischi e delle risorse del proprio territorio e di programmare, sulla base delle priorità emerse, le successive analisi di approfondimento necessarie alla redazione di progetti di mitigazione integrata, per i quali potrebbero essere disposte apposite procedure di finanziamento, da parte della Regione, così come proposto nel capitolo 1 sul protocollo.

I rischi presi in considerazione dal gruppo di ricerca, come si è già avuto modo di dire, sono il rischio sismico, quello idrologico/idraulico,, quello vulcanico, il rischio frana, il rischio radon e quello legato all'isola di calore. La metodologia messa a punto è descritta nel dettaglio nei paragrafi che seguono: per ogni singolo rischio considerato, viene spiegata la procedura per la redazione della mappa di pericolosità e della mappa di vulnerabilità e come ottenere, dalla loro combinazione, le mappe qualitative del rischio $R=P \times V$. Ciascun ambito disciplinare ha, quindi, operato con l'obiettivo di arrivare a definire le modalità di classificazione della pericolosità e della vulnerabilità secondo 4 classi. Laddove la classificazione ha previsto 5 classi, si è proceduto con la normalizzazione dei risultati. Una sintesi delle procedure adottate per le valutazioni relative a ciascun rischio considerato è riportata in singole schede operative.

Fig. 1
Sintesi del workflow relativo alla prima fase di analisi sul territorio e sull'edificato.



Il workflow che chiude la prima fase analitica, nella quale confluiscono tutti i dati e le cartografie acquisiti secondo quanto riportato ai capitoli 2 e 3, è descritto nella figura 1.

I paragrafi successivi illustrano come procedere con la valutazione qualitativa del rischio multi-hazard e con la successiva sovrapposizione delle mappe (multi-hazard, SUM e short-term) per l'individuazione finale delle priorità di intervento (Fig. 2).

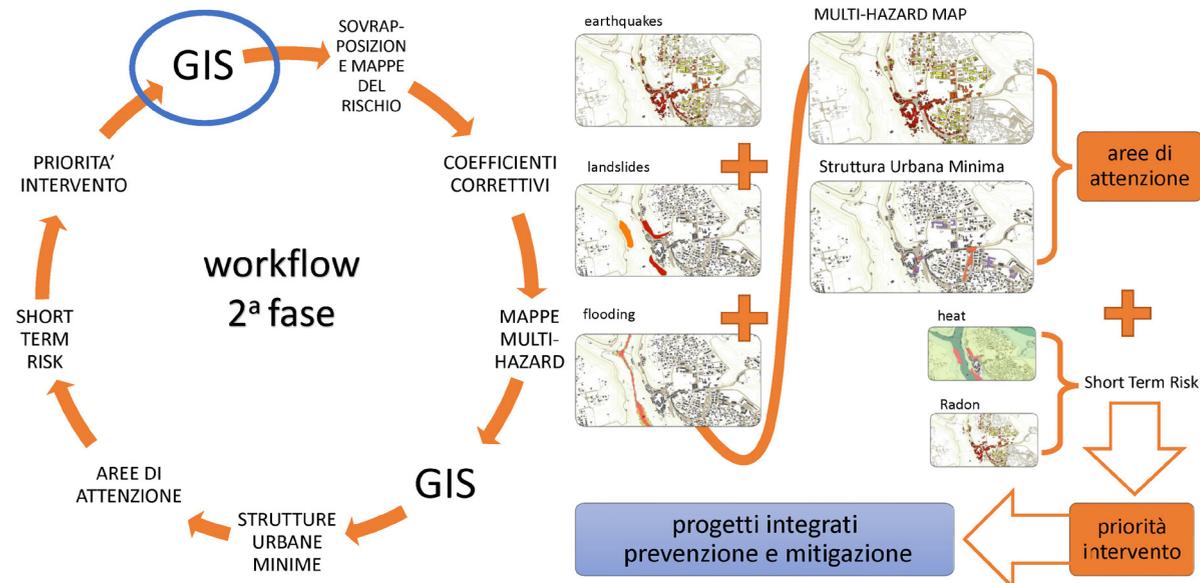


Fig. 2 Sintesi del workflow relativo alla seconda fase di analisi.

L'obiettivo dell'intero processo è valutare la compresenza di più rischi sul territorio e sull'edificato, anche di rischi che hanno natura molto diversa tra loro, in modo da affrontare il tema della prevenzione e della mitigazione secondo una visione olistica. Sulla base di questo esempio, pertanto, si potrà lavorare per realizzare tabelle di valutazione inerenti ad altri rischi, laddove necessario.

Le analisi possono essere condotte a partire da dati che in molti casi i comuni hanno già a disposizione o che possono essere acquisiti grazie al primo finanziamento regionale previsto dal protocollo. Infatti, come già detto al paragrafo 3.9, l'acquisizione di alcuni dati è prioritaria, poiché essi rappresentano la base di partenza per tutte le valutazioni del rischio. Pertanto è opportuno che le amministrazioni comunali, anche al fine di risparmiare e utilizzare efficacemente le risorse economiche, avviino una ricognizione sulla tipologia di dati a disposizione, ne valutino l'utilizzo in vari contesti operativi e orientino le eventuali nuove acquisizioni in modo che queste possano servire per la conduzione di più analisi.

5.2. Il GIS per l'elaborazione delle mappe di priorità di intervento

Mauro Saccone

Attraverso i software open source attualmente presenti on line¹, è possibile utilizzare tutta la cartografia Open Data che la regione Lazio mette a disposizione, ad esempio le diverse edizioni aggiornate della Carta Tecnica Regionale (CTR), la quale contiene la maggior parte degli elementi necessari alla realizzazione delle mappe di pericolosità, vulnerabilità e rischio. Quello che viene suggerito ai comuni è l'acquisizione della CTR del 2014, con il corrispondente codice EPSG, dalla quale si dovranno selezionare alcuni elementi di base necessari alla realizzazione delle mappe. Gli elementi della CTR che dovranno essere selezionati per la realizzazione delle mappe appartengono a tre distinte categorie per ciascuna delle quali dovrà essere realizzato uno shapefile:

- edificato;
- infrastrutture per la viabilità, mobilità e trasporti;
- elementi fisici del suolo.

¹ Tutto il progetto è stato sviluppato utilizzando QGIS <https://www.qgis.org>.

Per estrarre le informazioni dalla CTR occorre utilizzare il “Catalogo dei Dati Territoriali - Specifiche di contenuto per i DB Geotopografici”², unitamente alle “Regole di Interpretazione delle Specifiche di Contenuto per i Database Topografici” che sono i documenti di riferimento per i Database Geotopografici e costituiscono la base informativa territoriale per le pubbliche amministrazioni, ai sensi dell’Art. 59 del D. Lgs. 82/2005.

Sarà necessario selezionare quei poligoni che rappresentano sia gli edifici³ sia alcuni manufatti come ad esempio quelli industriali o quelli monumentali e di arredo urbano (per la lista completa si veda la Tabella 1) per avere la massima copertura di tutti i manufatti presenti sul territorio comunale. Tutti gli shapefile in tabella dovranno essere uniti in un unico shapefile che potrà essere nominato con il nome generico di “**edificato**”.

Tabella 1
Edificato.

UN_VOL - 020101	Unità volumetrica
MN_MAU - 020202	Manufatto monumentale e di arredo urbano
MN_IND - 020201	Manufatto industriale
MN_CON - 020211	Conduttura
PONTE - 020301	Ponte/viadotto/cavalcavia
MU_SOS - 020401	Muro di sostegno e ritenuta del terreno

Per quanto riguarda la categoria **infrastrutture per la viabilità, mobilità e trasporti** sarà necessario individuare gli elementi areali (poligoni) che corrispondono alle strade e alle ferrovie (Tabella 2). In questo caso la scelta della geometria “poligono”, rispetto all’elemento lineare, dipende dalla necessità di operare con i poligoni per consentire intersezioni. Tutti gli shapefile in tabella dovranno essere uniti in un unico shapefile che potrà essere nominato con il nome generico di “**infrastrutture**”.

Tabella 2
Infrastrutture.

AC_VEI - 010101	Area di circolazione veicolare
AC_PED - 010102	Area di circolazione pedonale
SD_FER - 010201	Sede di trasporto su ferro

Per la categoria degli elementi fisici del suolo (Tabella 3) sarà necessario selezionare dalla CTR 2014 sia le curve di livello (CV_LIV) sia una selezione dei punti quotati (PT_QUO). Tra tutti i punti quotati sono stati scelti solo quelli posizionati sul terreno, su strade e su infrastrutture per il trasporto (campo PT_QUO_SED, valore 1 e 101).

Tabella 3
Elementi fisici del suolo.

CV_LIV - 050101	Curva di livello
PT_QUO - 050102	Punto quotato

Ognuno di questi shapefile deve essere inserito nel progetto GIS e rappresenta il punto di partenza di tutte le future elaborazioni. Di fatto, questi layer sovrapposti costituiscono la cartografia di base dell’intero progetto.

² Si veda il documento ufficiale al link https://geodati.gov.it/geoportale/images/Specifica_GdL2_09-05-2016.pdf

³ Per la ricerca in oggetto sono state utilizzate le Unità Volumetriche come categoria di carattere più generico, tuttavia nell’ambito dei processi di digitalizzazione del patrimonio in atto, potrebbe essere più conveniente, per le amministrazioni comunali, l’uso di altre categorie e database associati come ad esempio quella degli edifici (EDIFC - 020102) grazie alle quali si possono estrarre, e se necessario aggiornare, molte più informazioni.



Fig 1
Base cartografica elaborata a partire dalla CTR: contiene l'edificato, le infrastrutture e gli elementi fisici del luogo, come le curve di livello e le quote altimetriche.

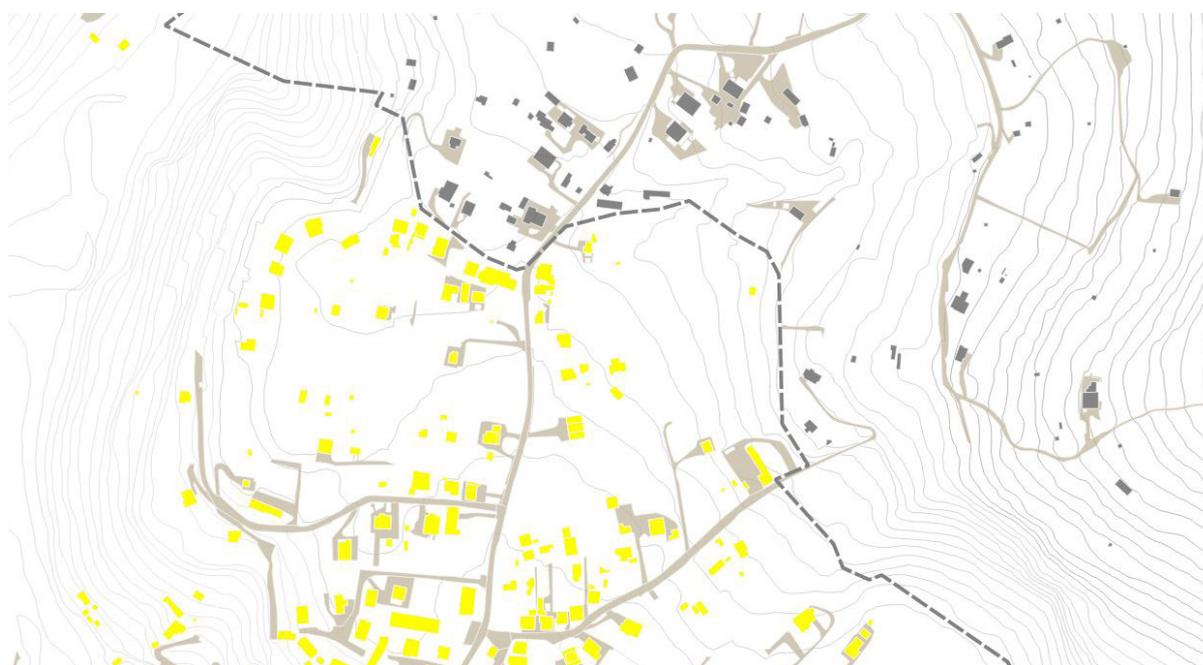


Fig 2
In giallo la selezione automatica dell'edificato che ricade all'interno dei confini comunali, ottenuta attraverso una query sul GIS.

A partire dalla cartografia di base ottenuta dalle fonti Open Source (Fig. 1), è necessario preparare i singoli shapefile per rispondere alle caratteristiche delle diverse mappe che dovranno essere realizzate ai fini della successiva individuazione delle aree di attenzione.

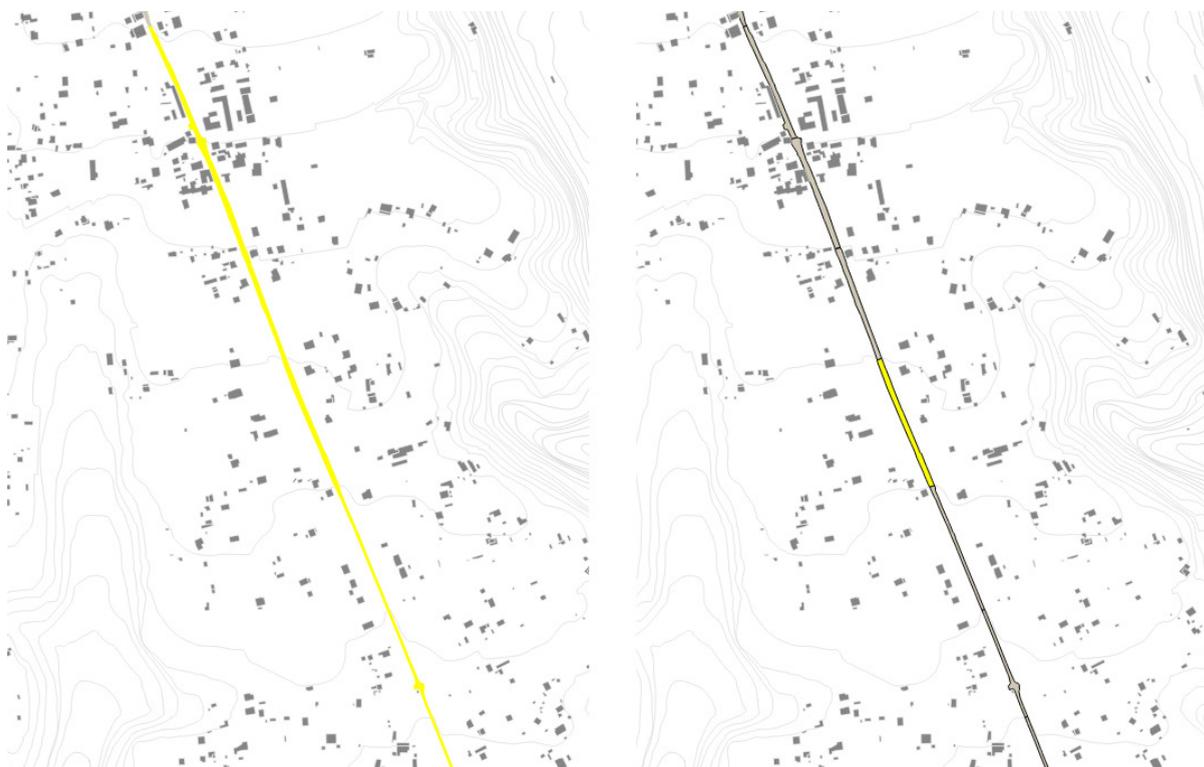
Nell'ambito della procedura, la pericolosità e la vulnerabilità dovranno essere rappresentate in maniera differente:

- la pericolosità, ad esempio, si riferisce a porzioni ampie del territorio comunale ed è generalmente definita da una geometria areale;
- la vulnerabilità, al contrario, riguarda i singoli manufatti e viene definita in maniera puntuale su edifici, strade, ponti e viadotti.

Pertanto, è necessario un metodo che faccia dialogare le due scale di rappresentazione. A questo scopo, la metodologia messa a punto propone di trasferire ai singoli manufatti le informazioni espresse sotto forma di geometrie areali. A ogni manufatto dovrà essere associato, per ciascun rischio, il valore di pericolosità dell'area su cui insiste.

Fig 3

Operazioni sulle geometrie della categoria infrastrutture per la viabilità, mobilità e trasporti. A destra il risultato della segmentazione delle infrastrutture utilizzando le curve di livello.



Per questa ragione gli shapefile provenienti dalla CTR devono essere elaborati e preparati operando sia sulle geometrie (con operazioni di selezione - esclusione - frammentazione) sia sui dati associati (attraverso l'aggiunta di campi).

La CTR del 2014 non divide i manufatti seguendo i confini amministrativi comunali, pertanto la prima operazione da condurre sarà quella di selezionare solo le unità volumetriche che ricadono all'interno dei confini amministrativi comunali (Fig. 2).

I layer che rappresentano l'**edificato** dovranno essere modificati per operare anche sui dati associati, aggiungendo alcuni campi (*fields* - colonne nel database). In particolare sarà necessario, per ciascun rischio long-term preso in considerazione, aggiungere una colonna che raccolga il dato relativo alla pericolosità, una relativa alla vulnerabilità e una che contenga il dato inerente al rischio PxV (prodotto delle due precedenti). Andrà poi aggiunta una ulteriore colonna che conterrà i dati inerenti ai rischi short-term.

Per gli oggetti appartenenti alla categoria **infrastrutture per la viabilità, mobilità e trasporti** sarà necessario un lavoro più articolato. Data la grande dimensione di questi poligoni, sarà necessario lavorare sulle geometrie ritagliando tutti gli elementi per avere delle porzioni più ridotte, sia per circoscrivere la selezione ai confini comunali, sia per segmentare ulteriormente i poligoni laddove sia necessario confrontarsi con pericolosità localizzate. Ciò permetterà di valutare correttamente gli effetti dei rischi naturali sulle diverse porzioni di manufatti. Come elemento di taglio di queste geometrie si suggerisce di utilizzare le curve di livello provenienti dalla CTR4 (*Vector overlay - split with lines*) che consentono di ottenere dei poligoni di dimensioni più contenute, meglio rispondenti alle necessità delle analisi (Fig 3).

Una volta completato il lavoro sulle geometrie, anche per le infrastrutture per la viabilità, mobilità e trasporti, analogamente a quanto fatto per l'edificato, sarà necessario lavorare sui dati, associando ad esse i campi (*fields* - colonne nel database) necessari a raccogliere il dato sulla pericolosità e vulnerabilità di ciascun rischio considerato.

Una volta preparati gli shapefile secondo quanto indicato, si procederà con le valutazioni della pericolosità e della vulnerabilità per i singoli rischi. Le schede operative che chiudono ciascuno dei paragrafi che seguono, sintetizzano le indicazioni per inserire i dati nel GIS e ottenere le mappe del rischio PxV.

⁴ Comando: *Vector overlay - split with lines*.

5.3. Valutazioni di tipo qualitativo della pericolosità e della vulnerabilità sismica

Martina D'Aversa

Con Delibera della Giunta Regionale del Lazio n° 387 del 22/05/2009, il territorio della regione Lazio è stato suddiviso in cinque zone a pericolosità sismica decrescente.

I valori inerenti alla classificazione sismica della Regione Lazio sono riportati nella figura 1 (Allegato 1 – Relazione tecnica, Nuova Classificazione sismica del territorio della Regione Lazio).

ZONA SISMICA	SOTTOZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1		$0.25 \leq a_g < 0.278g$ (val. Max per il Lazio)
2	A	$0.20 \leq a_g < 0.25$
	B	$0.15 \leq a_g < 0.20$
3	A	$0.10 \leq a_g < 0.15$
	B	(val. min.) $0.062 \leq a_g < 0.10$

Fig. 1

Suddivisione delle sottozone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido utilizzate per lo scenario di riclassificazione sismica della Regione Lazio.

La prima colonna riporta una scala di rischio decrescente (da 1, alto rischio, a 3, basso rischio) definita a livello nazionale. La seconda colonna riporta una microzonazione (A, basso rischio nell'ambito della scala definita con il primo valore o B, alto rischio). Nel caso specifico di Roma quest'ultima è ritenuta necessaria per approfondire l'analisi di rischio nell'ambito del medesimo territorio comunale. La terza colonna riporta l'accelerazione relativa alle singole zone sismiche.

Con l'acronimo UAS si fa riferimento alle Unità Amministrative Sismiche che, nella maggior parte dei casi, corrispondono al territorio di un singolo comune.

Per la pericolosità sismica si fa riferimento alla Nuova Classificazione sismica (Fig. 2). Ad ogni zona è associato

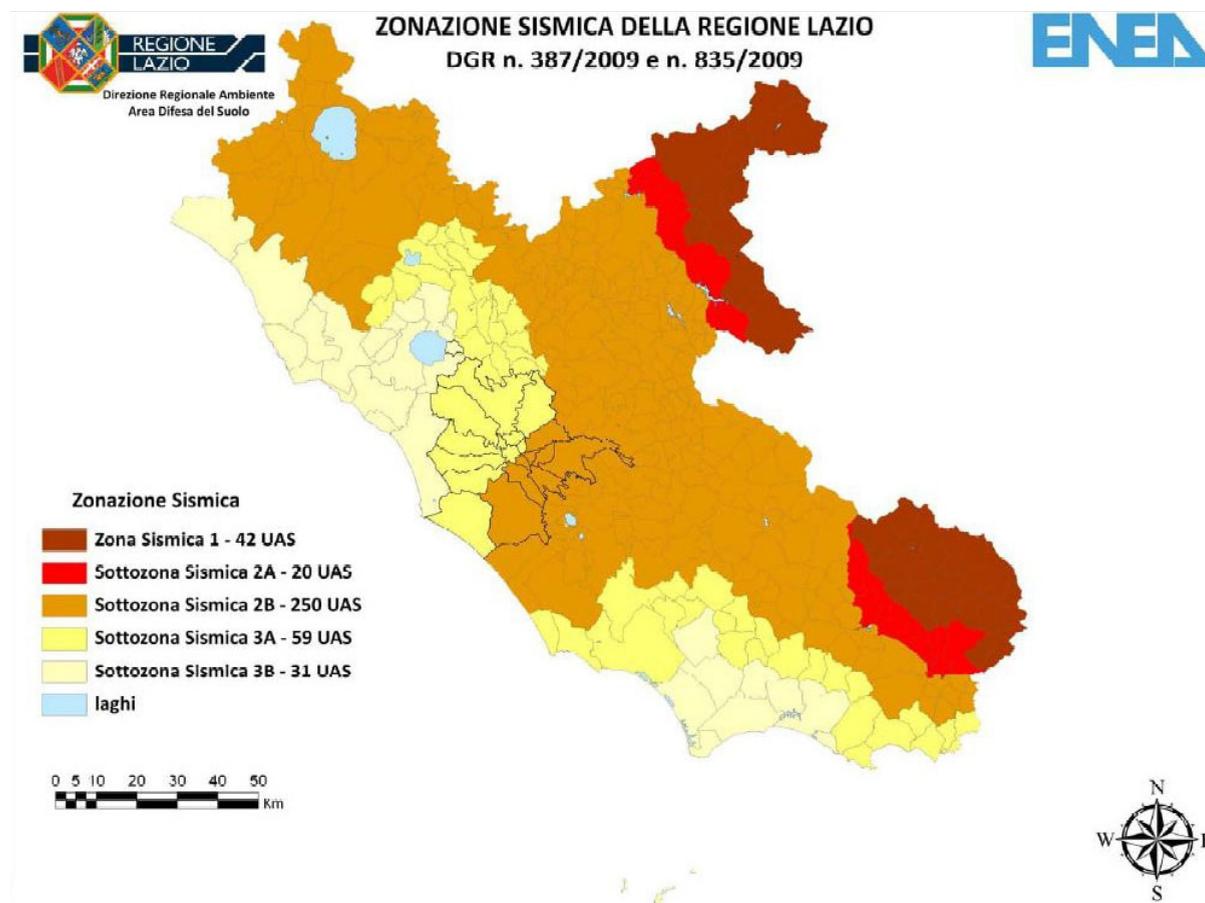


Fig. 2

Carta della suddivisione delle sottozone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido della Regione Lazio. (Fonte: Giunta Regionale del Lazio. Deliberazione n. 387 del 22.5.2009, "Nuova classificazione del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'OPCM 3519/06 e della DGR Lazio 766/03". Bollettino Ufficiale della Regione Lazio).

un valore dell'**accelerazione orizzontale massima** (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Per poter eseguire una valutazione speditiva è stata associata una classe di pericolosità ad ogni zona sismica come riportato nella figura 3 seguente:

Fig. 3
Classi di pericolosità sismica in Italia (Fonte: OPCM3274).

PERICOLOSITA' SISMICA		
ZONA	PGA	CLASSE DI PERICOLOSITA'
1	$a_g \geq 0,25g$	4
2A	$a_g \geq 0,20g$	4
2B	$a_g < 0,20g$	3
3A	$a_g \geq 0,10g$	2
3B	$a_g < 0,10g$	1

Le classi di pericolosità sono state numerate da 1 (bassa pericolosità) a 4 (alta pericolosità), raggruppando le prime due zone sismiche in unica classe. Per ciò che riguarda la vulnerabilità sismica si è fatto riferimento alla *European Macroseismic Scale*, EMS-98, (Grünthal, 1998) che definisce sei classi di vulnerabilità da A (vulnerabilità alta) ad F (vulnerabilità bassa) e sette tipologie murarie, come indicate nel prospetto seguente (Fig. 4).

Fig. 4
Classi di vulnerabilità degli edifici in muratura secondo la scala EMS98.

TIPOLOGIA MURARIA EMS98	Tipologia di struttura	Classe Vulnerabilità					
		A	B	C	D	E	F
	Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
	Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○					
	Muratura di pietra sbazzata		○				
	Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali			○			
	Muratura di mattoni e pietra lavorata		○				
	Muratura di mattoni e solai di rigidezza elevata			○			
	Muratura rinforzata e/o confinata				○		

In realtà, in Italia le tipologie di muratura da prendere a riferimento per la valutazione delle strutture esistenti sono indicate al cap.8 delle normative tecniche delle costruzioni. In particolare, la NTC 2018 definisce otto tipologie di cui quattro con tessitura regolare e quattro con tessitura irregolare, come mostrato nel prospetto seguente (Fig. 5).

Fig. 5
Classi di vulnerabilità degli edifici in muratura secondo le NTC18.

TIPOLOGIA MURARIA NTC2018	Tipologia di struttura	Classe Vulnerabilità					
		A	B	C	D	E	F
	Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	○					
	Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo		○				
	Muratura in pietre a spacco con buona tessitura		○				
	Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)		○				
	Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)		○				
	Muratura a blocchi lapidei squadrati		○				
	Muratura in mattoni pieni e malta di calce		○				
	Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia		○				

Si è quindi assegnato ad ogni tipologia muraria definita dalla NTC18 la classe di vulnerabilità derivante dalla scala EMS-98 secondo lo schema indicato in figura 5. In particolare, si è associata la classe 1 della NTC18 alla classe di Vulnerabilità A (la più alta) e le restanti alla classe di vulnerabilità B (quella di gravità appena inferiore).

In questo modo le tipologie murarie di riferimento sono solo quelle della norma NTC18, per le quali la classe di vulnerabilità si ottiene direttamente dalla scala EMS-98. Alle precedenti si aggiungono naturalmente quelle relative agli edifici in calcestruzzo armato, con le rispettive classi di vulnerabilità (Fig. 6).

		Classe Vulnerabilità					
		A	B	C	D	E	F
CALCESTRUZZO ARMATO	Telai con un livello di progettazione antisismica nullo			○			
	Telai con un livello di progettazione antisismica			○			
	Telai con un livello di progettazione antisismica			○			
	Pareti con un livello di progettazione antisismica nullo			○			
	Pareti con un livello di progettazione antisismica			○			
	Pareti con un livello di progettazione antisismica			○			

Fig. 6
Classi di vulnerabilità degli edifici in calcestruzzo armato secondo le NTC18.

Analogamente a quanto fatto per definizione della pericolosità sismica sono state definite le classi di vulnerabilità numerate da 1 (bassa vulnerabilità) a 4 (alta vulnerabilità). Si propone a tal proposito la seguente scala delle vulnerabilità (Fig. 7):

CLASSI DI VULNERABILITA'	
A	4
B	
C	3
D	2
E	
F	1

Fig. 7
Scala delle classi di vulnerabilità proposta.

Ciò ha permesso di definire la matrice di rischio sismico e conseguentemente le classi di rischio sismico (Fig. 8). La classe di rischio sismico 1 corrisponde ad un basso rischio mentre la classe 4 ad un rischio molto elevato. Il metodo utilizzato per assegnare la vulnerabilità sismica è stato quello dell'indagine speditiva: ad ogni edificio (unità volumetrica nel GIS) è stata assegnata una classe di vulnerabilità in funzione della tipologia di struttura e una classe di pericolosità in funzione dell'accelerazione di picco.

MATRICE DI RISCHIO SENZA RISCHIO FRANE					
\	PERICOLOSITA'				
		1	2	3	4
VULNERABILITA'	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
	3	3	6	9	12
	4	4	8	12	16

CLASSI DI RISCHIO	
12-16	4
8-12	3
4-8	2
1-4	1

Fig. 8
Matrice di rischio e classi di rischio proposte.

Valutazioni qualitative del rischio sismico ($R = P \times V$)

Per quanto riguarda la **pericolosità sismica** il riferimento è la nuova zonazione sismica della Regione Lazio (Fig. 1) che suddivide il territorio della regione in sottozone sismiche, in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido. A queste sottozone sono state assegnate delle classi di pericolosità (Fig. 2).

In questo modo per i piccoli comuni delle Aree Interne del Lazio è immediatamente disponibile la classe di pericolosità che deve essere assegnata a tutti gli edifici presenti nella CTR, in funzione della loro posizione: poiché la mappa è costruita in modo tale da includere tutto il territorio comunale in un'unica sottozona sismica⁵, l'operazione è piuttosto semplice. Si procede assegnando a tutte le unità volumetriche del comune il valore corrispondente alla classe di pericolosità individuata da valori numerici che vanno da 1 a 4.

Relativamente alla valutazione della **vulnerabilità sismica**, ad ogni tipologia muraria è stata attribuita una delle quattro classi, in accordo con la scala macrosismica europea e le normative sismiche vigenti (EMS-98 e NTC 2018). All'interno del GIS, ad ognuna delle unità volumetriche deve essere associata una classe di vulnerabilità espressa con valori numerici da 1 a 4 in funzione della tipologia muraria.

Una volta compiute le operazioni precedenti, per ogni edificio del comune in esame si avrà a disposizione un valore numerico degli indici di "Pericolosità Sismica" e "Vulnerabilità Sismica" nei rispettivi campi. Si ottiene pertanto l'indice di rischio come prodotto di pericolosità e vulnerabilità.

L'operazione deve essere condotta utilizzando la funzione del GIS che consente di moltiplicare tra loro i valori numerici associati ai singoli edifici (unità volumetriche) e di ottenere un nuovo campo (rischio $P \times V$) che raccoglie il risultato dell'operazione. Questo campo verrà utilizzato per classificare il rischio, secondo 4 classi con valori da 1 a 16.

5.4. Valutazioni della pericolosità e vulnerabilità idrologico/idraulica

Elena Volpi

Per avviare tali valutazioni occorre controllare se la zona di interesse ricade fra quelle già oggetto di studio da parte dell'Autorità di Bacino Distrettuale competente (l. 152/2006); tipicamente risultano essere già perimetrare le aree a pericolosità e rischio idraulico lungo il reticolo idrografico principale e parzialmente perimetrare quelle lungo il reticolo secondario. Il Ministero della Transizione Ecologica, già Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, mette a disposizione del pubblico e della Comunità Europea le informazioni relative alla valutazione preliminare, alle mappe di rischio e pericolosità ed ai Piani di gestione del rischio di alluvioni sul Geoportale Nazionale, già punto di accesso nazionale alle informazioni territoriali e ambientali in base alla Direttiva INSPIRE 2007/2/EC.

Nel caso in cui la zona sia già stata oggetto di uno studio idrologico-idraulico è obbligatorio rifarsi al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGR A) redatto dall'Autorità competente e alle corrispondenti Norme Tecniche Attuative (NTA), per qualunque attività di mitigazione o pianificazione territoriale (come previsto dal D.Lgs. 49/2010 e successive modificazioni).

In caso contrario è necessario effettuare uno studio idrologico-idraulico che consenta di verificare se la zona in esame è a rischio di alluvione o meno. Lo studio può implementare in prima approssimazione dei modelli di tipo speditivo e, laddove necessario, modelli di dettaglio per la simulazione idrologico-idraulica.

Il risultato dello studio deve essere sottoposto alla valutazione e successiva approvazione da parte dell'Autorità di Distretto competente affinché possa essere eventualmente adottato, ossia i suoi risultati possano divenire parte integrante del PRGA.

⁵ La maggior parte dei comuni del Lazio coincide con una unica Unità Amministrativa Sismica (UAS) territoriale, mentre per sei comuni è stato necessario prevedere all'interno del loro territorio delle UAS differenziate. I casi particolari sono stati i seguenti Comuni: Roma, Rieti, Pescocochiano, Nepi, Colfèlice e Vejano.

Le attività preliminari alla modellazione idrologica-idraulica prevedono:

1. la raccolta delle informazioni topografiche:
 - a. mappe digitali del terreno, DEM;
 - b. rilievi topografici del corso d'acqua e delle opere d'arte che interferiscono con il deflusso delle acque, già effettuati o realizzati ad hoc per lo studio in esame;
2. e la raccolta delle informazioni idrologiche e idrauliche:
 - a. dati di precipitazione intensa per lo studio statistico dell'occorrenza degli eventi pluviometrici che possono generare le alluvioni;
 - b. informazioni storiche sugli eventi alluvionali avvenuti nel passato;
 - c. misure di livello e di portata.

Nella modellazione speditiva si prevede di calcolare la portata di piena che transita nel corso d'acqua in esame con assegnato tempo di ritorno (secondo gli scenari previsti dal D.Lgs. 49/2010, tipicamente 50, 200 e 500 anni di tempo di ritorno) e di valutare le aree interessate dall'esondazione di tali portate dal corso d'acqua nella valle facendo uso di modelli semplificati che utilizzano in ingresso solo il modello digitale del terreno (DEM). Data la limitata accuratezza di tali modelli, questi vengono utilizzati di norma solo per una valutazione preliminare, ossia per identificare le aree che richiedono di effettuare studi di dettaglio.

Scheda operativa 5.4

Valutazioni qualitative del rischio idrologico/idraulico ($R = P \times V$)

Nella realizzazione delle mappe si possono presentare due casi:

Caso 1.

Se il comune ricade in un'area dove il rischio è stato già valutato - ed è, quindi, incluso nelle banche dati geografiche relative alla Valutazione Preliminare del Rischio di Alluvioni, realizzate nell'ambito del II ciclo di pianificazione (2015-2021), in adempimento alla Direttiva "Alluvioni" (2007/60/CE), dalle 7 Autorità di Bacino Distrettuali - si deve fare riferimento alle mappe presenti sul geoportale nazionale, scaricare il relativo shapefile vettoriale e considerare la classificazione del rischio presente su questi documenti ufficiali. Questa classificazione è fatta su 4 classi di rischio da moderato a elevato e quindi coincide con le 4 classi di rischio utilizzate in questa valutazione qualitativa, e può essere adottata tout court.

In questo caso, tutti i manufatti che ricadono all'interno delle aree perimetrate dalle Autorità di Bacino dovranno assumere, all'interno del GIS, il valore corrispondente all'area su cui insistono, secondo la tabella che segue.

Classe di rischio	Descrizione	Valore da attribuire
R4	rischio molto elevato	4
R3	rischio elevato	3
R2	rischio medio	2
R1	rischio moderato	1

Caso 2.

Qualora invece il comune non fosse in prossimità dei corsi d'acqua maggiori, occorrerà mettere in atto il metodo di valutazione qualitativa del rischio, espresso su 4 classi come previsto dallo schema $R = P \times V$, come di seguito indicato.

La valutazione della pericolosità idrologica/idraulica inerente ai corsi d'acqua minori si effettua utilizzando una mappa di pericolosità (aree allagabili) costruita secondo le indicazioni contenute nel paragrafo 3.4, che identifica le aree soggette a possibile esondazione, in funzione del tempo di ritorno dell'evento (ossia lo scenario o classe di pericolosità).

Queste aree, soggette a possibile inondazione vengono inserite nel GIS e tutti i manufatti che vi ricadono acquisiscono una classe di pericolosità da 1 a 3.

L'attribuzione della classe di vulnerabilità (a meno del valore complessivo dei beni) è suggerita dalle singole Autorità di Distretto e varia generalmente in classi da 1 (minima) a 4 (massima) ed è definita come danno potenziale, in analogia a quanto già effettuato nella redazione dei Piani di Assetto Idrogeologico, coerentemente con la normativa di settore (D.P.C.M. 29.09.98). L'analisi viene condotta in modo semplificato associando le categorie di elementi esposti a condizioni omogenee di Danno Potenziale. Di fatto, le classi omogenee di Danno Potenziale individuate sono quattro tenendo conto per la loro definizione in primo luogo, del danno potenziale alle persone, poi di quello al tessuto socio-economico ed ai beni non monetizzabili. Le quattro classi di danno sono state così definite:

- D4 (Danno potenziale molto elevato): aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico-ambientali;
- D3 (Danno potenziale elevato): aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive;
- D2 (Danno potenziale medio): aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico;
- D1 (Danno potenziale moderato o nullo): comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi dove risulta possibile il libero deflusso delle piene.

All'interno del GIS a tutti i manufatti deve essere associata una classe di vulnerabilità con valori numerici che vanno da 1 a 4, in funzione delle classi di danno sopra elencate, seguendo la tabella seguente:

Danno	Vulnerabilità	Valore da attribuire
D4	V alta	4
D3	V medio alta	3
D2	V medio bassa	2
D1	V bassa	1

Tabella di definizione delle classi di vulnerabilità idrologica/idraulica

Una volta compiute le operazioni precedenti, per ogni edificio del comune in esame avremo a disposizione un valore numerico sia nel campo "Pericolosità Inondazioni" sia nel campo "Vulnerabilità Inondazioni". Pertanto, la valutazione qualitativa del rischio PxV si ottiene eseguendo il prodotto di pericolosità e vulnerabilità, come previsto dalla tabella seguente (documento conclusivo del Tavolo Tecnico Stato-Regioni, recante gli indirizzi operativi per l'attuazione della direttiva 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi da alluvioni con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni).

CLASSI		CLASSI DI PERICOLOSITA'					
RISCHIO	DI	P3		P2		P1	
	CLA	D4	R4	R4	R3	R2	R2
SSI	D3	R4	R3	R3	R2	R1	R1
DI	D2	R3	R2	R2	R1	R1	
DAN	D1	R1	R1	R1	R1		
NO	D1	R1	R1	R1	R1		

Sulla base delle precedenti indicazioni occorre compilare le tabelle associate alle singole unità volumetriche inserendo un valore numerico da 1 a 4 corrispondente al rischio R1, R2, R3, R4.

5.5. Valutazioni qualitative della pericolosità da frana

Paola Molin

Nell'ambito delle valutazioni di tipo qualitativo, avendo queste una natura preliminare, le attività riguarderanno il reperimento di dati già disponibili da integrare con indagini speditive (Tabella 1).

In questo contesto operativo, l'interpretazione aerofotogeologica, possibilmente multitemporale, è utile per l'individuazione di morfologie diagnostiche di instabilità di versante ed eventualmente dei loro tempi di ritorno; a tal fine è necessaria l'acquisizione di strisciate di foto aeree, possibilmente di anni diversi, che ricoprano l'intero territorio comunale.

Individuate le morfologie del paesaggio e interpretate come espressioni delle caratteristiche del substrato geologico, dell'attività tettonica e dei processi superficiali, si può produrre una carta geomorfologica e fare previsioni sulla presenza di pericolosità geomorfologiche che possono influire sul paesaggio naturale e antropico. In tale prospettiva, l'interpretazione aerofotogeologica multitemporale, ossia effettuata osservando coppie di fotogrammi ripresi a distanza di anni per un periodo di almeno qualche decennio, permette di individuare processi superficiali attivi e con tempi di ritorno brevi.

Nel contesto delle Aree Interne della regione Lazio, l'interpretazione aerofotogeologica multitemporale è indirizzata principalmente ai processi di versante e fluviali, essendo questi dominanti nell'evoluzione del paesaggio. I versanti sono luogo dei processi di denudazione che avvengono ad opera delle acque di scorrimento superficiale e della gravità. L'insieme di tali attività porta al progressivo arretramento del versante e all'accumulo di sedimenti alla sua base. In particolare, i processi di massa possono rappresentare momentanee accelerazioni locali del tasso di arretramento, rendendo le frane una delle pericolosità principali che in un territorio vulnerabile possono risultare dannose per la vita umana e le sue attività. In tale ottica, l'operatore, nell'osservazione dei versanti, deve individuare le morfologie che documentano i processi diffusi (evidenze di ruscellamento diffuso e concentrato, di produzione, erosione e accumulo di detrito), ma soprattutto le frane. In particolare, per queste ultime, è necessario definire le caratteristiche geometriche dell'area di distacco (corona) e del corpo al fine di classificare il fenomeno.

L'attività delle acque di scorrimento superficiale incanalate ha un ruolo importante nell'evoluzione del paesaggio delle Aree Interne del Lazio per lo stretto legame tra dinamica fluviale e attività dei versanti in aree collinari e montuose. Infatti, la produzione detritica sui versanti va ad influire sulla portata solida dei corsi d'acqua e, di conseguenza, sulla loro capacità erosiva e sull'entità della deposizione. A sua volta, l'erosione fluviale alla base dei versanti è uno dei processi che ne turba l'equilibrio inducendo instabilità. In tale ottica, oltre a evidenziare eventuali morfologie relitte di antiche piene che hanno interessato le piane alluvionali, l'operatore deve focalizzarsi sull'individuazione di eventuali scarpate fluviali che documentino incisione o erosione laterale e quindi prevedere future interazioni con i versanti.

In aggiunta alle attività descritte, l'interpretazione aerofotogeologica permette l'individuazione delle espressioni topografiche della tettonica, con particolare riguardo alla tettonica attiva. Tali risultati possono essere accoppiati al modello geologico del sottosuolo nell'ambito della definizione della pericolosità sismica.

Per le valutazioni della pericolosità, accanto alla interpretazione aerofotogeologica, occorre un censimento dei fenomeni già noti, attraverso la consultazione di banche dati già esistenti (ad esempio quelle relative al progetto progetto AVI GNDCI-CNR; Progetto IFFI-ISPRA, o in possesso delle Autorità di Bacino, come il Piano stralcio di assetto idrogeologico, o di altri Enti), articoli e report scientifici, archivi (ad esempio quelli delle testate giornalistiche locali e nazionali).

Va ricordato che, come specificato nella L. 225/1992, le Regioni devono favorire l'organizzazione di strutture comunali di protezione civile. Poiché i Comuni devono dotarsi di un Piano di Gestione delle Emergenze, probabilmente sono già in possesso di dati relativi all'instabilità di versante del proprio territorio. In particolare, la Regione Lazio, con la L.R. 2/2014 e la seguente deliberazione del 17 giugno 2014, n. 363 ("Linee Guida per la pianificazione comunale o intercomunale di emergenza in materia di Protezione Civile") specifica che i Comuni, nella redazione del piano di gestione delle emergenze, devono basarsi su informazioni relative alle caratteristiche del territorio e alle condizioni di pericolosità e rischio agenti su di esso. La Regione Lazio, nel Programma Regionale di Previsione e Protezione, prevede proprio l'individuazione e promozione di studi e ricerche sui fenomeni generatori di condizioni di rischio e sulle relative misure preventive.

Nell'ambito delle valutazioni qualitative è impossibile elaborare la carta di pericolosità da frana perché questa si basa sulla carta della suscettibilità da frana che richiede un grado di approfondimento maggiore. È possibile, però, redigere una carta tematica sui fenomeni di instabilità di versante presenti nel territorio comunale utilizzando il censimento effettuato e le carte già preesistenti quali quelle del Piano Stralcio per il dissesto idrogeologico (PAI) fornite dalle Autorità di Bacino o dalle regioni. In base alla carta dei fenomeni di instabilità di

versante è possibile perimetrare le aree instabili al fine di redigere una carta della pericolosità preliminare senza distinguere le classi di pericolosità, rimandando questa classificazione alle valutazioni successive sulle sole aree di prioritarie (cfr. Par. 3.5).

Tabella 1

Schema riassuntivo delle valutazioni qualitative della pericolosità da frana.

Livello di conoscenza / approfondimento	Dati necessari	Analisi che si possono condurre	Prodotti
studio preliminare dell'instabilità dei versanti	Strisciate di foto aeree, possibilmente di anni diversi Articoli scientifici, report, archivi, banche dati	Interpretazione aerofotogeologica, possibilmente multitemporale per l'individuazione di morfologie diagnostiche di instabilità di versante Censimento dei fenomeni già noti	Carta dei fenomeni franosi già censiti e di quelli individuabili tramite aerofotointerpretazione. Elaborazione di carte speditive di pericolosità e rischio

Scheda operativa 5.5

Valutazioni qualitative del rischio di frana (R= P×V)

Nelle valutazioni suggerite dalla presente ricerca, la pericolosità da frana è descritta nella carta geomorfologica che perimetra le aree a instabilità di versante.

Tutti i manufatti, ovvero edificato e infrastrutture, che rientrano in queste aree (ma anche in aree limitrofe per un raggio di 10 m) assumono pericolosità massima. Occorre, pertanto, individuare le aree di instabilità di versante nello shapefile della carta geomorfologica, effettuare un offset di 10 m intorno a queste aree e selezionare tutti i manufatti che insistono su queste aree più estese. Una volta selezionati occorre attribuire loro, nel campo "Pericolosità Frana", un valore numerico, pari a 4, mentre a tutti gli altri si assegna un valore pari a 1.

CLASSE PERICOLOSITÀ	DESCRIZIONE	VALORE DA ATTRIBUIRE
Classe 4	Edificio che ricade nell'area di instabilità	4
Classe 3	-	-
Classe 2	-	-
Classe 1	Edificio che NON ricade nell'area di instabilità	1

Tabella che identifica le classi di pericolosità da frana

In questa fase, il metodo proposto non prevede di entrare nel merito della vulnerabilità da frana del singolo manufatto, poiché questo richiederebbe un approfondimento troppo oneroso in termini di tempi e costi. Pertanto si considerano tutti i manufatti con vulnerabilità massima e il valore da associare nel GIS, nella colonna della "Vulnerabilità da frana", è per tutti pari a 4.

Una volta compiute le operazioni precedenti, per ogni edificio del comune in esame avremo a disposizione un valore numerico sia nel campo "Pericolosità Frana" sia nel campo "Vulnerabilità da frana". Pertanto, la valutazione qualitativa del rischio PxV si ottiene eseguendo il prodotto di pericolosità e vulnerabilità.

L'operazione deve essere condotta utilizzando la funzione del GIS che consente di moltiplicare tra loro i valori numerici associati ai singoli edifici (unità volumetriche) e di ottenere un nuovo campo (rischio PxV) che raccoglie il risultato dell'operazione. Questo campo deve essere utilizzato per classificare il rischio, secondo 4 classi con valori da 1 a 16 (cfr. Fig. 8 Par. 5.3).

5.6. Valutazioni qualitative della pericolosità e della vulnerabilità da radon

Paola Tuccimei, Michele Soligo

La valutazione del rischio radon, attraverso la conoscenza degli elementi di pericolo esistenti nell'area in esame, consente la predisposizione di strumenti urbanistici e la messa a punto di indicazioni specifiche, idonei ad assicurare la tutela della salute pubblica, l'incolumità delle persone e dei beni presenti e anche la messa a punto di specifiche azioni.

Per la valutazione qualitativa della pericolosità e della vulnerabilità da radon, le comunità a cui è rivolto il protocollo dovranno eseguire una serie di step successivi.

Il primo step prevede una ricerca bibliografica approfondita sulla pericolosità da radon e su eventuali misure pregresse nelle aree d'indagine.

Alla ricerca bibliografica si affianca una prima definizione della pericolosità da radon; ad un livello di approfondimento iniziale, tale approccio deve basarsi sull'analisi della geologia locale considerando, in particolare: la litologia, la permeabilità dei suoli, la presenza di discontinuità tettoniche (faglie e fratture locali e/o regionali) che possono convogliare notevoli quantità di gas da gran profondità, la presenza di fenomeni carsici, lo spessore e la natura dei terreni di copertura e del suolo.

Nell'ambito delle valutazioni qualitative del rischio ($R=P \times V$), alla scala comunale o intercomunale (ad esempio per la redazione di un nuovo piano urbanistico), si propone una procedura volta alla definizione della pericolosità su base geologica. La base di partenza della caratterizzazione geologica è la suddivisione secondo le "Unità di Roccia", mentre per la valutazione della vulnerabilità si è tenuto conto delle ore di permanenza negli edifici, in relazione alla loro funzione.

Per quanto riguarda la pericolosità, tale approccio mutuato da uno studio avviato dall'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA) oltre 20 anni fa e denominato PERS (Potenziale di Esalazione di radon dal Suolo), può essere validamente utilizzato anche per la definizione delle cosiddette "radon Prone Areas" (aree ad alto rischio di radon indoor) ad un livello di maggior dettaglio della scala nazionale (ANPA, 2000). L'Unità di Roccia è un corpo roccioso tridimensionale omogeneo, con una determinata estensione in superficie e in profondità. È individuata essenzialmente in base alla litologia e alla geometria (superficie e spessore); spesso è delimitata da elementi tettonici importanti (faglie), ma è definita anche da altre caratteristiche petrografiche, strutturali e tessiturali dell'ammasso: contenuto di elementi radioattivi (in particolare di ^{226}Ra), fratturazione, porosità, permeabilità e caratteristiche idrogeologiche. A ciascuno di questi parametri viene assegnato un punteggio, poi utilizzato per la determinazione del PERS. Per ulteriori informazioni su questo calcolo, si rimanda alla pubblicazione dell'ANPA (2000). In questa fase, si prevedono alcune misure-spot (radon nel suolo ad 80 cm di profondità e permeabilità ai gas, detta anche permeabilità intrinseca), mirate esclusivamente alla validazione della procedura di classificazione e all'assegnazione di parametri quantitativi alle unità di roccia identificate (Castelluccio *et al.*, 2012).

Scheda operativa 5.6

Valutazioni qualitative del rischio radon ($R=P \times V$)

Per poter attribuire l'indicazione della pericolosità da radon all'edificio, in questa prima indagine qualitativa, si guarda alle caratteristiche del terreno su cui gli edifici sono stati costruiti. Grazie alla lettura della carta geologica, che descrive il substrato geologico, viene utilizzata la classificazione descritta nella tabella che segue. Nel GIS, il valore della classe di pericolosità dovrà essere trasferito dal terreno agli edifici che vi insistono, selezionandoli in base allo shapefile e attribuendo loro, nel campo "Pericolosità radon", un valore numerico, compreso tra 1 e 4.

CLASSE PERICOLOSITÀ	DESCRIZIONE	VALORE DA ATTRIBUIRE
Classe 4	Rocce vulcaniche o metamorfiche ad alta permeabilità	4
Classe 3	Rocce vulcaniche o metamorfiche a bassa permeabilità	3
Classe 2	Rocce sedimentarie ad alta permeabilità	2
Classe 1	Rocce sedimentarie a bassa permeabilità	1

Tabella di definizione delle classi di pericolosità da radon

Per dare un'indicazione circa la vulnerabilità dell'edificato rispetto al radon si è scelto di definire la classe di vulnerabilità in relazione alle ore di permanenza nei locali, che possono essere dedotte a partire dalle destinazioni d'uso dei piani terra.

Tali indicazioni non sono direttamente deducibili dalla CTR, ma il dato della destinazione d'uso dei piani terra deve essere raccolto con un ulteriore approfondimento come descritto nel paragrafo 7.5.

La tabella che segue riassume le principali funzioni e le relative classi di vulnerabilità che sono state valutate in funzione della permanenza media oraria e consente di esprimere, con un valore numerico da 1 a 4, la vulnerabilità dell'edificio che sarà indicata nel campo "Vulnerabilità radon".

FUNZIONI	n° ore	classi
residenziali	> 10	vulnerabilità 4
scuole secondarie 1° e 2°grado	5-7	vulnerabilità 2
attività commerciali	8-9	vulnerabilità 3
cantine, depositi, garage	0-2	vulnerabilità 1
scuole primarie	< 8	vulnerabilità 2
uffici pubblici e privati	< 8	vulnerabilità 2
ospedali	> 10	vulnerabilità 4
asili e scuole infanzia	< 8	vulnerabilità 2

Tabella delle vulnerabilità da radon

Una volta compiute le operazioni precedenti, per ogni edificio del comune in esame avremo a disposizione un valore numerico sia nel campo "Pericolosità radon" sia nel campo "Vulnerabilità radon". Pertanto, la valutazione qualitativa del rischio PxV si ottiene eseguendo il prodotto di pericolosità e vulnerabilità.

L'operazione deve essere condotta utilizzando la funzione del GIS che consente di moltiplicare tra loro i valori numerici associati ai singoli edifici (unità volumetriche) e di ottenere un nuovo campo (rischio PxV) che raccoglie il risultato dell'operazione. Questo campo deve essere utilizzato per classificare il rischio, secondo 4 classi con valori da 1 a 16 (cfr. Fig. 8 Par. 5.3).

5.7. Valutazioni speditive delle ondate di calore

Lucia Martincigh

La valutazione del rischio ondate di calore avviene attraverso la verifica del possibile accadimento del fenomeno, e della sua pericolosità, e l'analisi del suo impatto sul benessere e sulla salute delle persone, che lo subiscono utilizzando gli spazi urbani all'aperto nell'area oggetto dello studio. Questa conoscenza permette di fornire indicazioni e individuare interventi appropriati a mitigare il fenomeno e prevenirne gli effetti negativi.

Vengono qui sinteticamente riportati i dati e le attrezzature necessari per svolgere l'analisi, come pure i passi successivi necessari a definire la pericolosità, la vulnerabilità e il rischio legati alle ondate di calore in ambiente urbano. Per la descrizione approfondita del metodo e le motivazioni alla base delle scelte operate si rimanda al Cap. 3.8, nelle sue varie parti, e all'applicazione esemplificativa al caso di studio di Cave al Par. 7.6.6.

Per avviare la valutazione è necessario disporre di:

- stazioni meteorologiche per il rilevamento della temperatura e dell'umidità relativa, dislocate in più punti del tessuto urbano oggetto di studio, rappresentativi delle diverse situazioni climatiche locali;
- cartografia in scala opportuna del tessuto urbano oggetto di studio;
- informazioni sulla conformazione e distribuzione degli insediamenti residenziali nel tessuto urbano;
- informazioni e dislocazione dei servizi pubblici, di interesse pubblico o generale, a livello comunale, e dei servizi di prima necessità più importanti;
- informazioni sulle tipologie di utenze da considerare nella situazione specifica.

Per definire e valutare in modo speditivo la pericolosità, si fa riferimento alle indicazioni sulle ondate di calore fornite dal Ministero della Salute e presenti in letteratura; all'indice di Thom, atto a individuare il livello di disagio; ad alcuni approfondimenti sulla durata del fenomeno, atti a definire in modo più preciso la percezione del discomfort e le eventuali conseguenze sulla salute delle categorie di utenti più deboli. Per prima cosa si ordinano su fogli di calcolo, in intervalli di tempo scelti, i dati sulla temperatura e l'umidità relativa raccolti quotidianamente,

nei mesi più caldi dell'estate (almeno luglio e agosto), da ogni stazione metereologica; si imposta quindi la formula semplificata dell'indice di Thom e, sulla base delle relative soglie, si definisce il livello di disagio in ogni intervallo di tempo definito. Successivamente si analizzano i vari livelli di disagio come entità e ricorrenza nei giorni e nei mesi; si valuta quindi la pericolosità del fenomeno considerando la classe di disagio che ha una maggior ricorrenza e, riferendosi alla scala della pericolosità: Molto bassa - Bassa - Media - Alta - Molto Alta, con valori da 1 a 5, se ne definisce la classe di appartenenza; gli spazi analizzati possono così essere elencati in ordine di priorità decrescente per quanto riguarda la pericolosità.

Queste operazioni e valutazioni vanno fatte con i dati raccolti da ogni stazione metereologica; i risultati riguardano gli spazi urbani che ricadono nell'ambito di ogni stazione metereologica. Le classi di pericolosità possono anche essere tre: Bassa - Media - Alta, con valori numerici da 1 a 3.

Per definire e valutare in modo speditivo la vulnerabilità, si fa riferimento alla frequentazione degli spazi urbani e dei percorsi, che connettono origini e destinazioni nell'area studiata, per definire la suscettività degli utenti a essere investiti in modo negativo dal fenomeno delle ondate di calore. Per prima cosa si definisce l'area di analisi, idealmente perimetrata da un cerchio con raggio di 500 m.; poi si definisce quali sono le tipologie di utenze da considerare, per esempio: abitanti, frequentatori quotidiani/visitatori etc.; quindi si definiscono le origini e le destinazioni principali, che generano il flusso pedonale delle utenze selezionate. Infine, su una planimetria vanno definiti i percorsi O-D (Origine-Destinazione), disegnando con linee spezzate di diverso colore, per ogni utenza e origine, i percorsi più brevi, assimilabili alle varie linee d'aria, utilizzati per raggiungere le destinazioni prefissate dalle diverse origini.

La frequentazione dei percorsi, che connettono origini e destinazioni nell'area studiata, è data dall'accumulo di presenze sullo stesso tratto, cioè dal numero massimo di utenze diverse che lo possono percorrere, in un senso o nell'altro, in un momento ipotetico della giornata. Per poter valutare il livello di frequentazione dei diversi percorsi teorici, ad ogni tratto di percorso coperto da ogni utenza per recarsi dall'origine alla destinazione viene attribuito un valore uguale a uno. La rete di percorsi pesati, che risulta da questa analisi, può essere rappresentata da una linea dello stesso colore, ma con spessori diversi che comunicano i pesi, cioè livelli di frequentazione, dei diversi tratti dei percorsi.

Una tabella di sintesi combina gli spazi urbani con i relativi pesi che, definendo il livello di frequentazione e quindi di vulnerabilità di ogni spazio, permettono di elencarli in ordine di priorità. Maggiore è il peso, maggiore è la frequentazione e quindi la vulnerabilità dello spazio analizzato. La valutazione sintetica può essere espressa facendo riferimento a cinque intervalli di valori, definendo il livello di vulnerabilità: Molto alto - Alto - Medio - Basso - Molto basso, con valori numerici puntuali da 1 a 5. Le classi di vulnerabilità possono anche essere tre: Bassa - Media - Alta, con valori numerici da 1 a 3.

Per definire e valutare in modo speditivo il rischio connesso alle ondate di calore negli spazi considerati, si fa riferimento alle classificazioni della pericolosità e della vulnerabilità, entrambe a 5 intervalli e quindi facilmente confrontabili.

Va redatta una tabella finale che riporta, in verticale, le denominazioni dei diversi spazi urbani, in orizzontale nelle prime due colonne, i risultati delle analisi precedenti: grado di pericolosità e di vulnerabilità, nella terza colonna il prodotto di questi due valori, che indica il valore numerico del rischio per ogni spazio analizzato. La valutazione sintetica, raggruppando i vari valori in cinque intervalli e assumendo l'intervallo di valori alti come negativo, cioè come indicatore dei livelli più alti di rischio, articola il rischio in cinque classi: Molto alto - Alto - Medio - Basso - Molto basso. L'elencazione degli spazi urbani secondo questa graduatoria indica, in modo chiaro e immediato, dove sarebbe necessario intervenire in via prioritaria per prevenire e mitigare il rischio delle ondate di calore.

Per una lettura più immediata, in una planimetria, gli spazi urbani analizzati vanno campiti con colori propri dei diversi livelli di rischio.

Scheda operativa 5.7

Valutazioni speditive del rischio ondate di calore ($R = P \times V$)

La mappa del rischio ondate di calore esprime, attraverso una classificazione da 1 a 5, il rischio riscontrabile negli spazi pubblici del comune oggetto di studio. La mappa utilizza una rappresentazione di tipo lineare, pertanto occorre trasferire le informazioni dalle linee della mappa ai poligoni del layer "infrastrutture". L'operazione può essere condotta sia manualmente sia utilizzando le funzioni di selezione per posizione. Manualmente qualora la mappa fosse in formato tradizionale e richiedesse quindi una selezione manuale dei poligoni del layer "infrastrutture", qualora invece il dato dell'ondata di calore fosse già nel sistema GIS si potrebbe utilizzare la selezione per intersezione. In ogni caso sarà necessario trasferire queste informazioni dalla mappa al GIS, a ciascuna porzione del layer "infrastrutture" andrà attribuito il corrispondente valore numerico del rischio e la relativa classe, compilando il campo, denominato "Ondate di calore" con un valore numerico da 1 a 5.

5.8. La perimetrazione delle SUM

Mauro Saccone

Ai fini della procedura di valutazione del rischio multi-hazard proposta dal progetto di ricerca, la perimetrazione delle SUM, identitarie e funzionali, è una fase essenziale per l'individuazione delle aree con priorità di intervento. L'appartenenza di un edificio o di una infrastruttura ad una SUM, infatti, comporta che questo acquisisca, rispetto a manufatti compresi nella stessa classe di rischio, priorità di intervento (cfr 5.9 e Tabella M1).

Per la perimetrazione delle SUM occorre riferirsi, per le questioni di carattere generale, al paragrafo 2.4 e, per un esempio applicativo, al paragrafo 7.4 che descrive la perimetrazione delle Sum nel Comune di Cave, caso di studio della presente ricerca.

Scheda operativa 5.8

Mappe della SUM

Una volta inserite nel GIS le perimetrazioni relative alle aree urbane, agli edifici e alle infrastrutture che individuano le SUM identitarie o funzionali, occorre associare a tutti gli elementi degli shapefile “edificato” e “infrastrutture” che vi ricadono un codice alfanumerico identificativo. Operativamente, occorrerà inserire una colonna denominata “SUM” nella quale inserire il codice “AA” per l'edificato e le infrastrutture appartenenti sia alle SUM identitarie che a quelle funzionali, al fine di poterle selezionare successivamente per le valutazioni inerenti all'individuazione delle priorità di intervento.

5.9. Mappe qualitative del rischio multi-hazard, aree di attenzione e priorità di intervento

Mauro Saccone

Una volta effettuate le valutazioni qualitative dei rischi ($R=P \times V$) long-term e short-term e redatte le relative mappe, per ottenere una valutazione delle priorità di intervento che tenga conto delle SUM e dei rischi short-term si procede in tre fasi:

1. combinazione dei rischi long-term per la realizzazione di una mappa multi-hazard che definisce le aree di attenzione;
2. sovrapposizione della mappa multi-hazard con la mappa delle SUM e definizione di una prima mappa delle priorità;
3. sovrapposizione di questa prima mappa delle priorità con le singole mappe dei rischi short-term per l'individuazione finale delle priorità d'intervento.

Relativamente alla prima fase, come descritto al paragrafo 4.4, le mappe dei rischi long-term (sismico, frana e alluvione) dovranno essere combinate tra loro al fine di esprimere una mappa del rischio multi-hazard.

Grazie alle valutazioni qualitative, descritte nei precedenti paragrafi, a ciascun manufatto appartenente agli shapefile “edificato” e “infrastrutture” è attribuita una classe di rischio espressa attraverso un valore numerico da 1 a 4. La combinazione dei diversi rischi (sismico, frana e alluvione) dovrà essere realizzata sommando, in maniera pesata, questi valori numerici. Il peso di ciascun rischio dipende da molteplici fattori (si veda Par. 4.4) ed è riassunto nella seguente tabella, già riportata in precedenza:

Tabella 1

Indicazione delle modalità di combinazione dei singoli rischi, adottata nella procedura proposta, formulata in Bathrellos *et al.* (2017) e così descritta: *the weighting coefficient of every natural hazard and the consistency ratio (CR) for the suitability of urban development.* H1 = landslide, H2 = flood, H3 = seismic.

	H1	H2	H3	weights, W_i
H1	1	3	1/2	0.333
H2		1	1/3	0.140
H3			1	0.528
CR = 0.05				

Per procedere con la valutazione qualitativa del rischio multi-hazard si propone di effettuare una somma pesata del valore di ciascun rischio applicando prima della sommatoria il coefficiente correttivo indicato nella Tabella 1. La sommatoria dei rischi così pesati restituisce la valutazione qualitativa rischio multi-hazard per i rischi long-term. I risultati (con valori compresi tra 0 e 4) dovranno essere suddivisi in tre classi (bassa, media, alta) e definiscono, di fatto, le aree di attenzione. All'interno delle classi i valori possono variare da 0 a 1.33 - classe bassa, da 1.34 a 2.66 - classe media e da 2.67 a 4 - classe alta.

Scheda operativa 5.9.1

Mappa qualitativa del rischio multi-hazard

A ciascun edificio e a ciascuna infrastruttura vengono associati i valori di rischio long-term individuati (sismico, alluvione, frane). Questi valori vanno sommati tra loro, dopo aver applicato i coefficienti correttivi, ovvero dopo che siano stati moltiplicati rispettivamente per i seguenti valori: il rischio sismico per 0.528, il rischio frane per 0.333 e il rischio alluvione per 0.14, come indicato nella Tabella 1 alla pagina precedente. La somma dei valori normalizzati dovrà essere inserita nella colonna "Rischio normalizzato" e verrà utilizzata per produrre la mappa del rischio multi-hazard da esprimersi in 3 classi (alto, medio e basso) che definiscono, di fatto, le aree di attenzione.

Per individuare, tra le aree di attenzione, quelle prioritarie di intervento si è scelto, come detto, di tenere conto di due fattori: prima della perimetrazione delle SUM e poi dei rischi short-term, e delle loro ricadute su "edificato" e "infrastrutture".

Nello specifico, la mappa qualitativa rischio multi-hazard dovrà essere sovrapposta alle mappe delle SUM (cfr. Par. 5.8) per una prima identificazione delle aree sulle quali si dovrà intervenire in maniera prioritaria con le analisi del rischio più specifiche e con i conseguenti progetti di mitigazione integrata.

La prima definizione delle classi di priorità dipende dalla sovrapposizione tra le mappe qualitative del rischio multi-hazard e le SUM. Ad esempio, edifici e infrastrutture che hanno rischio alto e ricadono in una SUM avranno priorità massima, come descritto nella Tabella 2.

Rischio multi-hazard	Condizioni	Prima definizione delle classi di priorità
Alto	rischio alto + SUM	1
	rischio alto	2
Medio	rischio medio + SUM	3
	rischio medio	4
Basso	rischio basso + SUM	5
	rischio basso	6

Tabella 2

Le condizioni che determinano la prima definizione delle classi di priorità.

Visti gli obiettivi della ricerca, le priorità così individuate dovranno tenere conto anche dei rischi short-term. Dal momento che non è possibile procedere con una somma pesata di questi rischi, poiché non è possibile stabilire il peso relativo di ciascuno, questo studio introduce una sommatoria che non modifica le classi di priorità precedentemente espresse ma identifica quali elementi siano prioritari all'interno della stessa classe.

Vista la natura eterogenea dei rischi short-term (cfr. Par. 5.6 e Par. 5.7), e il fatto che ciascuno incide in maniera differente su diversi aspetti della vita dei cittadini, la metodologia proposta prevede che questi possano essere espressi attraverso un numero *n* di classi. Il valore finale che verrà utilizzato per stabilire la priorità di intervento sarà comunque compreso tra 0 e 1.

La mappa finale delle priorità di intervento esprimerà dunque un ordinamento crescente ottenuto secondo la formula:

$$P + \frac{R1+R2+...+ Rn}{n+1} \text{ con } 0 \leq Ri \leq 1 \text{ per } i = 1,2,..., n$$

dove P indica il livello di priorità di intervento e R indica le *n* tipologie di rischi short-term che possono essere considerate nei diversi casi di studio. La formula consente la sommatoria di tutti i rischi short-term ma garantisce che il risultato produca effetti all'interno della stessa classe di priorità.

Le Schede operative, che seguono, riepilogano e sintetizzano la procedura esposta.

Scheda operativa 5.9.2

Prima mappa delle priorità

Per determinare le priorità di intervento occorre sovrapporre, in ambiente GIS, le mappe qualitative del rischio multi-hazard alle mappe delle SUM assegnando, ai manufatti che ricadono nelle SUM, un codice identificativo. Attraverso una selezione nel database che mette insieme le 3 valutazioni del multi-hazard e il codice identificativo, si ottengono le 6 classi di priorità di intervento.

A partire dalla mappa qualitative del rischio multi-hazard, attraverso una query, si selezionano tutti gli edifici e le infrastrutture che hanno classe del rischio multi-hazard alta e che appartengono ad una SUM (cfr. Par. 5.8) e si attribuisce loro, nel campo “priorità intervento”, la priorità 1. Successivamente, l’operazione verrà ripetuta per quelli che hanno classe multi-hazard alta ma non appartengono alla SUM, attribuendo loro priorità 2 e così di seguito secondo la tabella:

multi-risk	condizioni	priorità di intervento
Alto	rischio alto + SUM	1
	rischio alto	2
Medio	rischio medio + SUM	3
	rischio medio	4
Basso	rischio basso + SUM	5
	rischio basso	6

Scheda operativa 5.9.3

Mappa delle priorità di intervento

Definita la prima mappa delle priorità, occorre solo stabilire, all’interno delle singole classi di priorità, l’influenza dei rischi short-term.

La prima operazione da condurre è quella di attribuire loro un punteggio in funzione della suddivisione in classi. Se i rischi short-term sono espressi su 4 classi occorre attribuire i valori pari a 1/4 di punto, se invece i rischi sono espressi su 5 classi, i valori saranno di 1/5 di punto secondo la tabella che segue:

classi short-term	valori numerici				
3 classi	0		0.5		1
4 classi	0	0.33		0.66	1
5 classi	0	0.25	0.5	0.75	1

Per ciascuno dei manufatti contenuti negli shapefile “edificato” e “infrastrutture” si procede, quindi, alla sommatoria dei valori di rischio short-term secondo la formula:

$$P + \frac{R1+R2+...+ Rn}{n+1} \text{ con } 0 \leq Ri \leq 1 \text{ per } i = 1,2,..., n$$

che restituisce un ordinamento crescente all’interno della stessa classe di priorità. Per ogni edificio o infrastruttura si otterrà, pertanto, un valore numerico decimale. Ad esempio, per la prima classe di priorità otterremo valori da 1,1 a 1,9 dove al valore 1,9 corrisponde una maggiore priorità. Come è evidente il risultato della sommatoria produce effetti solo all’interno della stessa classe di priorità e gli edifici o infrastrutture con un valore più alto avranno dunque priorità di intervento.

6 Prevenzione e mitigazione sostenibili dei rischi ambientali

6.1. Premessa

Marina Di Guida, Lucia Martincigh, Giovanna Spadafora

La necessità di intervenire per prevenire e mitigare gli effetti che il verificarsi di eventi naturali può avere sulle vite umane, sull'edificato e sull'ambiente, urbano ed extraurbano, continua a rappresentare un obiettivo primario per chi è chiamato a occuparsi di governo del territorio. Al contempo, appare un obiettivo imprescindibile quello di operare affinché tali interventi siano sostenibili e non incidano, a loro volta, sul delicato equilibrio ambientale.

Nei prossimi decenni, peraltro, i cambiamenti climatici potrebbero ulteriormente amplificare l'intensità e la frequenza degli eventi estremi e quindi la vulnerabilità dei territori.

Ne discende un cambiamento dei fattori di rischio e il verificarsi di rischi nuovi e inattesi in regioni non esposte in passato a tali eventi, nonché la necessità di adeguare i meccanismi di prevenzione e risposta e rivedere i costi programmati.

La resilienza e la riduzione del rischio di disastri (Disaster Risk Reduction - DRR¹) - sono temi fondamentali delle agende di summit internazionali; dopo anni di dibattito nell'ambito del processo multilaterale UNFCCC (UN Framework Convention on Climate Change), si è raggiunto, in seno alla Conferenza delle Parti di Varsavia del 2013 (COP19), il consenso in merito alla creazione di un cosiddetto meccanismo di compensazione delle perdite e dei danni ("loss and damage"); si tratta di un sistema internazionale di compensazione delle perdite e dei danni derivanti dagli impatti dei cambiamenti climatici che superano le capacità di adattamento dei paesi più vulnerabili². A livello europeo è forte ormai la consapevolezza sulla necessità di sviluppare e attuare efficaci politiche per la gestione del rischio di disastri (Disaster Risk Management - DRM³) con l'obiettivo di promuovere la resilienza e mitigare i loro effetti più severi. Il DRR e l'adattamento ai cambiamenti climatici rappresentano due processi che si attuano tramite politiche specifiche. Il DRR affronta un problema presente da tempo (i disastri ambientali), mentre l'adattamento affronta una problematica che è emersa in maniera preponderante negli ultimi decenni (i cambiamenti climatici). Sebbene con origini diverse, i due processi presentano aspetti comuni:

- entrambi si pongono l'obiettivo di ridurre la vulnerabilità alle calamità naturali rafforzando la resilienza della società o di specifici settori al fine di prevenire e far fronte agli impatti di tali disastri;
- entrambi affrontano gli eventi estremi idro-meteorologici o eventi climatici e adoperano strumenti simili

¹ Disaster Risk Reduction (DRR): le misure attuate per anticipare il rischio di disastri futuri, per ridurre la esposizione esistente, la vulnerabilità e per migliorare la resilienza.

² Tale richiesta è basata sul principio delle responsabilità comuni ma differenziate (cosiddette "common but differentiated responsibilities") che riconosce la principale responsabilità in capo ai paesi industrializzati per il perseguimento dello sviluppo sostenibile, alla luce del loro maggiore peso nel determinare i cambiamenti climatici e nella superiore capacità tecnologica e finanziaria.

³ Disaster Risk Management (DRM): processi per pianificare, attuare e valutare le strategie, le politiche e le misure per migliorare i fattori di rischio, incoraggiare la riduzione e il trasferimento del rischio di disastri e promuovere un miglioramento continuo nella "disaster preparedness", risposta e recupero al fine di aumentare la sicurezza umana, la qualità della vita e lo sviluppo.

per monitorare, analizzare e valutare i disastri e gli impatti.

Sussistono, tuttavia, anche le seguenti differenze:

- la comunità scientifica che si occupa di adattamento ha iniziato solo nell'ultimo decennio ad occuparsi dei disastri di origine climatica (climate-related hazards) come inondazioni, siccità e tempeste; la comunità che attua il DRR, al contrario, ha una esperienza di più lunga durata nell'affrontare molteplici disastri e non solo quelli causati da eventi estremi climatici;
- le misure di adattamento richiedono un approccio di più lunga durata per far fronte anche ad impatti di lungo termine (ad es. la perdita di biodiversità, le modificazioni nei servizi ecosistemici e la diffusione di malattie di origine climatica), e per tenere conto della potenziale variazione degli impatti e disastri nel tempo; le misure di DRR, al contrario, si basano su un approccio a breve termine e non affrontano generalmente gli impatti a lungo termine.

Sia il DRR che l'adattamento condividono il comune obiettivo di sviluppare capacità di resilienza ai disastri nel contesto dello sviluppo sostenibile; entrambi devono essere integrati nei piani nazionali di sviluppo, nelle strategie per combattere la povertà, il degrado sociale e nelle politiche settoriali. Il DRR basato sulle vulnerabilità presenti e passate può fallire nel suo obiettivo di costruire la resilienza ai rischi futuri, ma anzi contribuire alla generazione di ulteriori rischi, se non tiene conto e non affronta le conseguenze dei cambiamenti climatici. Ad esempio, una difesa da inondazioni progettata senza una adeguata considerazione dei cambiamenti climatici (un possibile innalzamento del livello del mare e un'intensificazione delle mareggiate), può trasmettere un senso di falsa sicurezza alle comunità insediate e risultare in mal-adattamento.

Il gruppo di ricerca ritiene, dunque, che sia importante esplorare le seguenti opportunità nel campo dell'integrazione dell'adattamento e DRR:

- rafforzare le sinergie tra l'adattamento e il DRR, tra la comunità scientifica e le istituzioni;
- sviluppare modelli di previsione del rischio climatico (previsioni stagionali e proiezioni climatiche) che possano, mediante tecniche di *downscaling*⁴, fornire un'alta risoluzione spaziale in grado di integrare il know-how del gruppo geologico-geotecnico-idrogeologico con quello della comunità scientifica climatica e meteorologica;
- integrare e standardizzare banche dati pubbliche e private per renderle prontamente utilizzabili a seguito di eventi catastrofici;
- elaborare mediante il *downscaling* mappe del rischio di determinati eventi estremi (ad es. alluvioni, siccità) ad alta risoluzione spaziale per i borghi e i centri abitati delle Aree Interne (oggetto della presente ricerca), che tengano conto dei cambiamenti climatici;
- promuovere comportamenti virtuosi di prevenzione del rischio tramite attività di sensibilizzazione, formazione e assistenza diretta per cittadini e amministrazioni. Infatti, l'adattamento richiede la partecipazione di tutti gli stakeholder che sono coinvolti in qualsiasi tipo di politica, affari o servizi che sono, o saranno, interessati dai cambiamenti climatici. I procedimenti attuati dagli stakeholder devono fare i conti con l'idea sbagliata che le strategie di adattamento e le azioni conseguenti siano sempre costose da adempiere e che la "non attuazione" sia un'alternativa più economica. Invece le azioni che vengono messe in atto allo scopo di raggiungere una situazione di adattamento anticipato e precauzionale sono più efficaci e meno costose di quelle, obbligate dell'ultimo momento, dell'adattamento all'emergenza o a posteriori.

Per i rischi non direttamente legati al cambiamento climatico, come il rischio sismico (anche derivante da sismicità vulcanica), il rischio radon o in generale quello legato alla emanazione di gas dal sottosuolo, la mitigazione dei rischi si attua, in particolare, attraverso una serie di azioni mirate sugli edifici - col fine di aumentare la sicurezza delle strutture e di ridurre la permeabilità ai gas - sugli spazi aperti e sulle infrastrutture, senza sottovalutare la possibilità delle interferenze tra le pericolosità indotte dai differenti fenomeni.

Obiettivo generale è il miglioramento delle conoscenze dei fenomeni naturali e delle loro interazioni con gli ecosistemi, le attività antropiche e le infrastrutture presenti sul territorio, con il fine della caratterizzazione, previsione e

⁴ *Downscaling* significa prendere informazioni note a grandi scale per fare previsioni a scale locali. Il *downscaling* dei modelli climatici è un tentativo di colmare il divario tra gli effetti globali e locali attraverso la stratificazione di dati a livello locale su modelli climatici su vasta scala. Generalmente, le informazioni climatiche provengono da modelli climatici globali (GCM). Esistono due strategie generali per il *downscaling*: *downscaling* dinamico e *downscaling* statistico. Il *downscaling* dinamico utilizza un modello climatico regionale (RCM), con risoluzione spaziale più elevata (in genere 10-50 km) su un'area limitata, ed è alimentato con condizioni meteorologiche su larga scala dal GCM. Il *downscaling* statistico deriva innanzitutto da relazioni statistiche tra le variabili di piccola scala osservate (spesso a livello di stazione meteo) e le variabili di scala più grandi (GCM). I futuri valori delle variabili di grande scala, ottenute dalle proiezioni GCM del clima futuro, sono quindi utilizzati per guidare le relazioni statistiche e quindi stimare i dettagli su scala ridotta del clima futuro.

mitigazione dei rischi. Un efficiente sistema di prevenzione dei rischi prevederà:

1. lo sviluppo e la sperimentazione di tecnologie avanzate per il monitoraggio, in particolare del degrado ambientale (suolo, acqua, ecosistemi, patrimonio culturale);
2. la migliore comprensione dei processi e dei fattori responsabili di eventi meteorologici, geologici e geo-idrologici pericolosi e la ricostruzione della loro evoluzione e distribuzione nello spazio e nel tempo.

Questi obiettivi sono raggiungibili solo attraverso una maggiore integrazione tra conoscenze acquisite sui fenomeni di rischio, innovazione tecnologica, sistemi osservativi in grado di monitorare in modo integrato l'ambiente, centri e reti per la gestione dati e modellistica ambientale, idrogeologica e geotecnica per la valutazione degli impatti sia in termini di inquinamento antropico che di eventi calamitosi a differenti scale.

A partire da diverse fonti⁵ sono stati dedotti i principi più importanti per costruire una metodologia per la prevenzione e mitigazione dei rischi in ambito ambientale, che riguardano sia quelli derivanti dal verificarsi di calamità naturali che quelli indotti dai cambiamenti climatici:

1. **Adottare un approccio basato sulla conoscenza e sulla consapevolezza** (avere il quadro dei possibili impatti del verificarsi degli eventi naturali e dei cambiamenti climatici sulla vita, sulla sicurezza, sulla salute, sulle attività e in generale sui modi di vita, orienta i comportamenti della popolazione e aiuta gli amministratori nella definizione delle priorità relative agli interventi da mettere in atto).
2. **Lavorare in partnership e coinvolgere gli stakeholder e i cittadini** (la partecipazione attiva dei cittadini e delle loro associazioni può apportare un significativo valore aggiunto al miglioramento della consapevolezza e alla condivisione delle azioni che devono essere intraprese, sia per la prevenzione e mitigazione dei rischi che per l'adattamento ai cambiamenti climatici).
3. **Considerare la complementarità dell'adattamento rispetto alla mitigazione** (adattamento e mitigazione non sono in contraddizione tra di loro, ma rappresentano due aspetti complementari di una politica globale di intervento sul territorio).
4. **Agire secondo un approccio flessibile** (le politiche e le azioni di adattamento, prevenzione e mitigazione dei rischi naturali devono essere contestualizzate; cioè devono essere elaborate e pianificate caso per caso, al fine di rispondere in maniera efficace alle diverse necessità e situazioni regionali e locali. In linea con questo principio, gli interventi dovranno essere coerenti con le esigenze e le opportunità dei singoli territori e dovranno pertanto tener conto dei processi ambientali, socio-economici, tecnologici, culturali e politici che li caratterizzano).
5. **Effettuare un regolare monitoraggio e la valutazione dei progressi verso l'adattamento e la mitigazione** (attraverso una preliminare definizione di insiemi di indicatori opportunamente validati che descrivano in modo sintetico il rischio ambientale e le sue conseguenze, misurino lo stato di partenza - indicatori di stato - e l'efficacia nell'attuazione delle misure e dell'intervento - indicatori di risultato. Gli indicatori devono essere definiti a partire dalla domanda degli utilizzatori finali, con particolare riguardo alle esigenze dei decisori locali. Tale attività di monitoraggio e valutazione favorisce la flessibilità del processo di adattamento, consentendo il miglioramento della conoscenza disponibile).

Le linee guida europee sulla prevenzione, mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici e al rischio ambientale, rispecchiando il cosiddetto *Adaptation Support Tool* della piattaforma *Climate ADAPT*, si adattano alla

⁵ Si rimanda alla bibliografia per un elenco più esaustivo. Qui si riportano solo alcune delle fonti analizzate: D.Lgs. 49/2010 *Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni*. Scopo principale ridurre potenziali conseguenze negative su salute umana, attività economiche, ambiente, patrimonio culturale, attraverso la redazione dei piani di gestione del rischio di alluvione; *Linee guida per le attività di programmazione e progettazione degli interventi per il contrasto del rischio idrogeologico* (Presidenza del Consiglio dei Ministri - Settembre 2017); *Handbook on Radon Indoor: a public health perspective 2009* (World Health Organization); DPCM 9 febbraio 2011 *Valutazioni e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle NT per le costruzioni, di cui al Decreto del Ministero per le Infrastrutture e dei trasporti del 14/01/2008*; *Linee guida per la valutazione del rischio sismico nel patrimonio culturale* (DPCM 12 ottobre 2007); *Adaptation in Europe* (2013) e *Guiding principles for adaptation to climate change in Europe* (2010) dell'EEA - European Environmental Agency (Agenzia Europea dell'Ambiente); il Libro Bianco della Commissione Europea *L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo* (EC, 2009); la *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* del MATTM italiano (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare) per l'elaborazione del PNACC-Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (2017); *Le Linee di indirizzo per la prevenzione - Ondate di calore e inquinamento atmosferico del Piano Nazionale di Prevenzione degli effetti del caldo sulla salute del Ministero della Salute: Piano Nazionale - Centro Nazionale Prevenzione e controllo malattie* (2019).

gestione dei rischi considerati in questa ricerca; esse presentano un *policy cycle* composto di 6 fasi raccomandate agli Stati Membri per sviluppare e attuare le proprie strategie di adattamento:

1. preparare il terreno per l'adattamento attraverso la creazione di una serie di assetti istituzionali e attività organizzative;
2. valutare i rischi e le vulnerabilità ai cambiamenti climatici;
3. identificare le opzioni di adattamento;
4. valutare le opzioni di adattamento, tra cui la valutazione costi-benefici delle misure di adattamento, e lo sviluppo e l'adozione di una strategia di politica;
5. attuare la strategia che implica lo sviluppo di un piano di azione e/o di un piano di settore con l'assegnazione dei ruoli e delle responsabilità, assicurando le risorse umane e finanziarie nel lungo termine;
6. monitorare e valutare la strategia con una serie di strumenti e indicatori appropriati.

In Italia, i principali problemi di riduzione della vulnerabilità, in riferimento agli scenari di cambiamento climatico, e di adattamento, in riferimento a un contesto ambientale e territoriale diverso da quello attuale, possono essere risolti adottando un modo diverso di pianificazione proprio in quei settori che le analisi di impatto climatico hanno mostrato essere i più critici. I maggiori problemi, infatti, riguardano la:

- **pianificazione e gestione delle risorse idriche**, in relazione alla prospettiva di diminuzione complessiva di tali risorse, di incremento di eventi meteorologici estremi (alluvioni e siccità), di aumento di differenziale tra la disponibilità idrica a Nord e Sud Italia;
- **pianificazione e gestione degli usi del territorio e delle risorse ambientali naturali**, in relazione alla prospettiva di migrazione di tutti gli ecosistemi verso nord (a latitudini più alte) e verso l'alto (a quote più elevate), con conseguenti modifiche del paesaggio naturale, della biodiversità e di disponibilità delle risorse ambientali; con variazione dei rischi idrogeologici conseguenti a deglaciazione alpina e all'aumento eventi meteorologici estremi;
- **programmazione dello sviluppo di alcuni settori economici** particolarmente sensibili ai cambiamenti climatici, quali quello agricolo e agroalimentare, quello degli insediamenti umani e delle infrastrutture nelle aree a maggior variazione di rischio idrogeologico, quello energetico e, infine, quello turistico e del tempo libero.

Nei paragrafi che seguono, il tema della mitigazione dei rischi è affrontato dalle diverse discipline secondo metodi propri. L'obiettivo del protocollo è quello di realizzare progetti di mitigazione che tengano conto delle diverse problematiche che incidono contemporaneamente sul territorio, edificato e non.

6.2. La cultura dei luoghi

Francesca Romana Stabile

La valorizzazione e il recupero dei centri storici, guidata dal rispetto delle qualità storico-artistiche e tipologiche-costruttive degli edifici è il filo conduttore della ricerca sulle metodologie di analisi sul patrimonio edilizio, finalizzato alla prevenzione e mitigazione dei rischi naturali e ambientali delle Aree Interne del Lazio. Risulta quindi necessario codificare una serie di aspetti legati alle analisi sul patrimonio per il recupero, manutenzione e riuso dell'edilizia storica. L'obiettivo è quello di indirizzare gli interventi edilizi in base ad un approccio filologico attento sia alla conservazione dei caratteri architettonici e costruttivi dei manufatti che ai problemi legati al riuso del territorio. L'approccio filologico, attraverso lo studio e l'interpretazione delle identità architettoniche dei luoghi permette di allargare l'orizzonte alla ricostruzione di porzioni perdute o alterate del tessuto storico. Tali proposte progettuali si confrontano con quel virtuoso processo evolutivo, dettato dalla regola dell'arte, che per secoli ha caratterizzato e conformato lo sviluppo dei centri storici.

La ricerca svolta vuole così contribuire ad approfondire le competenze operative legate alla salvaguardia e al recupero dei tessuti edilizi storici e dei suoi valori formali e costruttivi.

Nell'ambito del recupero dei centri storici è importante rileggere alcuni studi sull'architettura minore dedicati al Lazio, pubblicati negli anni Venti e negli anni Sessanta del Novecento. La conoscenza e la valorizzazione dei caratteri regionali ed etnografici dell'architettura, infatti, porta negli anni Venti alla pubblicazione di repertori grafici e fotografici finalizzati tanto all'attività di restauro quanto alla progettazione del nuovo. Nella ricerca sull'identità dei luoghi, che unisce lo studio dell'architettura monumentale a quello dell'edilizia minore, si può riconoscere l'eredità dell'insegnamento di Gustavo Giovannoni e il riferimento a una serie di iniziative promosse dall'Associazione Artistica fra i Cultori di Architettura, rivolte alla salvaguardia dei valori ambientali e artistici dei centri storici.

Tra le pubblicazioni dedicate al Lazio si ricordano: la sezione sul Lazio de *L'architettura rusticana nell'arte italiana*

nella pagina a fianco,

Fig. 1

Fasi di sviluppo del progetto borrominiano per il borgo di San Martino al Cimino, da Paolo Marconi, *San Martino al Cimino, in Il comprensorio tra la via Flaminia e il mare: problemi di sviluppo a lunghissimo termine dell'espansione edilizia e della viabilità della capitale*, «Quaderni di ricerca urbanologica e tecnica della pianificazione», Facoltà di Architettura, Università di Roma, s.d. (1970), p. 138.

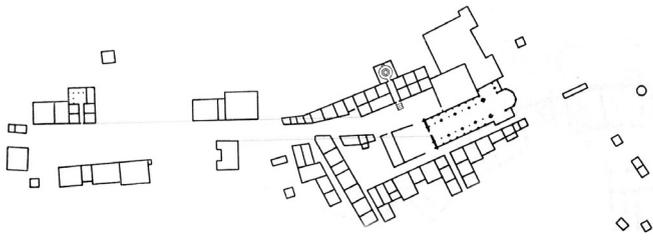


Fig. 220. - *Lo stato del Borgo al 1653* (dal disegno Vat. Lat. 11257/42, pubblicato nella pagina a destra).

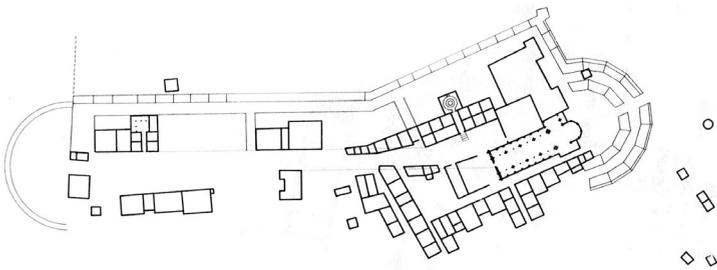
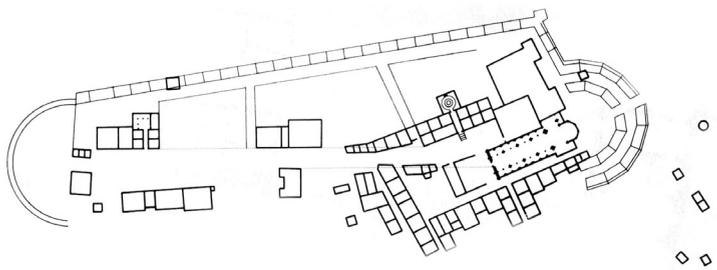
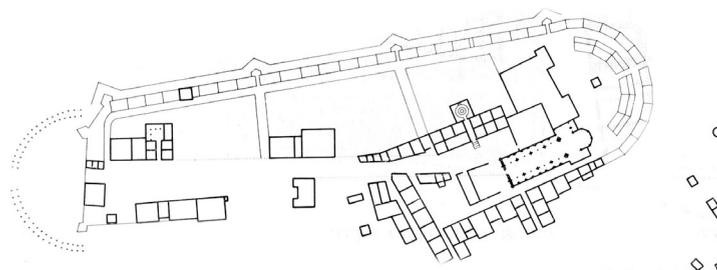


Fig. 221. - *Analisi delle fasi di progettazione rilevabili dai disegni a matita sovrapposti al disegno a penna citato. 1ª fase.*



Sopra: Fig. 222. - *Restituzione della 2ª fase di progettazione.* Sotto: Fig. 223. - *Fase finale, con piazza emicicla inviluppante il Borgo.*



- dalle capanne alla casa medioevale [1] (post 1923), a cura di Giulio Ulisse Ferrari; lo studio dedicato a Vitorchiano di Plinio Marconi (1928) [2]; *L'Architettura minore - Lazio e il suburbio di Roma* [3] (1939). Il volume *L'Architettura minore - Lazio e il suburbio di Roma* si apre con una premessa di Giovannoni che riflettendo sui modi di formazione dei tessuti storici rileva: «nell'urbanistica ci si mostrano gli aggruppamenti "naturalisti" sulle torte vie e sulle romite piazzette di case sorte come alberi di un bosco o come cristallizzazioni di una rupe, ovvero i tentativi di tracciati regolari o su uno schema geometrico disegnato. [...] Nel Lazio e nel suburbio di Roma, questi diversi processi formativi ci appaiono in modo forse più interessante che altrove, per convergere dal mezzogiorno o dal settentrione delle più svariate tendenze, e per persistere al centro di una grande e gloriosa continua tradizione che ha nome Roma. [...] Nel Medioevo talora vi prevalgono le correnti esogene, pur assimilate e trasformate e diversamente si volgono nel Lazio; mentre a Roma tenacemente classica è immune; dal Cinquecento in poi invece l'architettura minore laziale è mobile riflesso dell'architettura minore di Roma, che forse ivi, per le minori alterazioni edilizie, può più compiutamente studiarsi».

Nel dopoguerra, grazie ai «Quaderni dell'Istituto di Urbanistica» (1957-1966) – poi «Quaderni di ricerca urbanologica e tecnica della pianificazione» (1966-1970) – diretti da Plinio Marconi, della Facoltà di Architettura di Roma "La Sapienza", è possibile approfondire alcuni gli studi sulla lettura dei processi formativi dell'edilizia storica del Lazio. In particolare, risultano significativi i numeri dedicati alle ricerche storiche, urbanologiche, edilizie e paesaggistiche del settore del territorio laziale a Nord di Roma. La ricerca era coordinata da Plinio Marconi, con il contributo del Consiglio Nazionale delle Ricerche, ed era divisa in una sezione dedicata ai problemi della pianificazione territoriale del Lazio e in una sistematica analisi storico-critica della zona circostante Roma, suddivisa in quattro porzioni disposte a Ovest dei Monti Prenestini. Quest'ultima analisi era articolata in due parti: la prima documentava lo studio storico sulla viabilità del Lazio, nel comprensorio a Nord di Roma, con particolare riguardo alle fasi etrusca e romana; la seconda, illustrava, dal punto di vista urbanistico, topografico, paesaggistico, edilizio e storico, il territorio circostante Roma attraverso scrupolose ricerche d'archivio, rilievi in pianta e in alzato, disegni di restituzioni delle fasi storiche e numerose fotografie.

Il primo "Quaderno" presentava il comprensorio che raggruppava i Comuni dei Monti Prenestini; il secondo, *I comuni fra la bassa valle dell'Aniene ed il Tevere* (1960), con i contributi di Plinio Marconi, *I problemi dei centri urbani di antica origine*; Mariano Pallottini, *Come vedere la città e Tivoli e il territorio di Roma*; Luciana Finelli, *Storia della città di Tivoli*; erano, inoltre, pubblicate una serie di schede redazionali su alcuni centri urbani del comprensorio (*Vicovaro, Castelmadrada, Montecelio, S. Angelo, Mentana, Monterotondo*). Il terzo "Quaderno", era dedicato

a *Il territorio della Media Valle del Tevere* (n. 3, 1966), con gli studi sui Comuni circostanti la bassa valle del Tevere fino alle vie Flaminia e Cassia (Farnese, Caprarola, Morlupo, Capena, Torrita Tiberina, Fiano Romano, Filacciano, Corchiano, Vallerano, Orte, Narni, Poggio Mirteto). Infine, nel 1970, a conclusione della ricerca, viene pubblicato, *Il comprensorio tra la via Flaminia e il mare – problemi di sviluppo a lunghissimo termine dell'espansione edilizia e della viabilità della capitale*, che documenta gli studi sui centri storici di Cerveteri, Ceri, Santa Maria di Galeria, Bracciano, Anguillara, Trevignano, Sutri, Capranica, Nepi, Ronciglione, San Martino al Cimino, Barbarano, Marturano, Tuscania, Tarquinia.

Con questo quarto "Quaderno", viene così completato l'esame delle caratteristiche più rilevanti di tutto il

territorio attraverso i contributi, tra gli altri, di Plinio e Paolo Marconi, Paola Moretti, Francesco Correnti, Edoardo Monaco, Elisa Chiumenti, Gianfranco Spagnesi, Angela Marino ed Enrico Guidoni. (figg. 1-2).

Da questi brevi riferimenti è possibile ricordare come l'attività di studio operante sui centri storici si inserisca in una lunga tradizione di ricerche che evidenziano come l'attenzione per la cultura locale si estenda ad ambiti diversi, investendo il vasto campo della valorizzazione e della tutela del territorio.

I continui rimandi alla storia dell'architettura e alle possibili relazioni con il contesto (geografiche, urbanistiche, antropologiche) costituiscono la base per un approccio filologico da cui deriva l'indirizzo culturale e operativo per gli interventi di restauro architettonico e urbano.

Quanto brevemente tracciato, vuole portare a riflettere sull'importanza dello studio applicativo legato al recupero dei centri storici minori.

Uno dei primi contributi all'azione di salvaguardia e di riqualificazione del territorio nasce dalla capacità di identificare il patrimonio da conservare, ne consegue l'importanza della formazione di operatori specializzati che sappiano compiere una lettura storica del tessuto edilizio, oltre che una lettura della logica strutturale dei diversi elementi architettonici. È doveroso ricordare come, nel 1980, Federico Zeri nella prefazione all'ottavo volume della *Storia dell'arte italiana*, dedicato alle «Inchieste sui centri minori», sottolineasse l'importanza di studi nei quali la ricerca storico-artistica fosse accompagnata dalla conoscenza dei caratteri urbano-territoriali oltre che di quelli economico-sociali. A questi vanno aggiunti, nell'ambito del restauro, gli studi sulla tradizione costruttiva e strutturale che costituiscono parte integrante del progetto di recupero, a garanzia di compatibilità e di reversibilità dell'intervento. Di qui l'esigenza della formazione di architetti specializzati nel restauro che sappiano operare con una cultura storica tanto di carattere linguistico che tecnico.

L'obiettivo è quello di recuperare un modo di progettare e costruire "compatibile" con i caratteri delle città storiche, teso a conciliare le condizioni di vita civile con le identità dei luoghi.

Tale obiettivo si confronta con progetti di restauro architettonico e piani di gestione particolarmente complessi dal momento che tali interventi impegnano fortemente la voce economica del costo della manodopera e quella ancor più necessaria della formazione professionale degli addetti di ogni ordine e grado. Occorre inoltre acquisire una conoscenza approfondita delle strutture architettoniche storiche, per arrivare anche ad una possibile duplicazione di ciò che nel tempo si è perduto, al fine di restituire un testo leggibile per forma e per sostanza.

La ricerca che è stata condotta, consapevole di tale complessità, è parte di questo percorso legato alla conoscenza e all'uso dei tipi costruttivi e linguistici tradizionali, mirato a conservare vive le testimonianze della nostra cultura edilizia.

6.2.1. Individuazione degli interventi volti al recupero e alla valorizzazione degli assetti storici e paesaggistici

Francesca Romana Stabile

Nel corso degli anni, il progressivo abbandono dei centri storici ha compromesso lo stato di conservazione dei manufatti, il cui degrado si è accompagnato ai recenti e indifferenziati interventi edilizi privi di rapporto con il contesto. Nel quadro generale di una ricerca sulle metodologie di analisi sul patrimonio edilizio, finalizzato alla prevenzione e mitigazione dei rischi naturali e ambientali dei centri storici delle Aree Interne del Lazio, risulta quindi necessario codificare una serie di aspetti legati al recupero, manutenzione e riuso dell'edilizia storica. L'obiettivo è quello di indirizzare gli interventi edilizi in base ad un approccio filologico attento sia alla conservazione dei caratteri architettonici e costruttivi dei manufatti che ai problemi legati al riuso del territorio. L'attività progettuale si dovrà, quindi, confrontare con la conoscenza approfondita degli edifici e del loro contesto, in maniera da consentire un idoneo intervento che miri:

- alla conservazione dell'identità morfologica e tipologica del manufatto (con possibilità di ampliamento e trasformazione in coerenza con le espressioni del processo evolutivo del costruito storico);
- alla conservazione dell'identità costruttiva e materica dell'edificio;

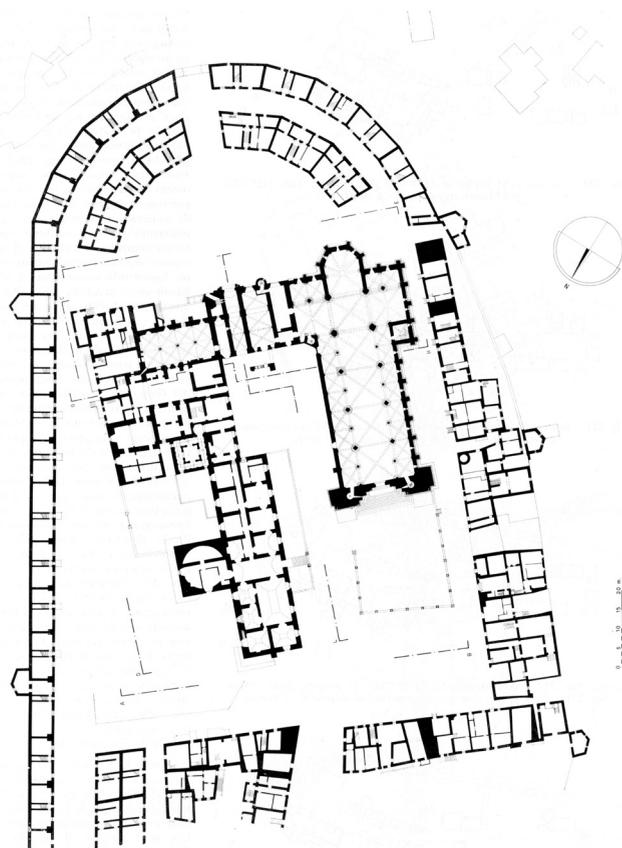


Fig. 2. San Martino al Cimino, planimetria di dettaglio del nucleo abbaziale, da Paolo Marconi, *San Martino al Cimino, in Il comprensorio tra la via Flaminia e il mare: problemi di sviluppo a lunghissimo termine dell'espansione edilizia e della viabilità della capitale*, «Quaderni di ricerca urbanologica e tecnica della pianificazione», Facoltà di Architettura, Università di Roma, s.d. (1970), p. 137.

- alla conservazione e implementazione compatibile delle caratteristiche bioclimatiche del manufatto e del suo contesto;
- all'eliminazione dei detrattori che ne alterino l'identità originaria;
- alla sostenibilità ambientale e culturale dell'intervento;
- alla reversibilità degli interventi di progetto senza alterazioni permanenti del morfotipo edilizio;
- all'adeguamento tecnologico, prestazionale e igienico sanitario che non alteri l'identità del morfotipo edilizio;

Attraverso il riconoscimento e lo studio tipologico, morfologico e costruttivo dei diversi manufatti sarà possibile definire progetti di mitigazione attraverso azioni di restauro, conservazione e fruizione dell'edilizia storica.

I progetti di mitigazione basati sul recupero edilizio e restauro architettonico devono fare riferimento a una serie di requisiti tecnici generali che possono essere così sintetizzati:

- conservazione dei sistemi costruttivi storici rilevati attraverso la Scheda conoscitiva (si veda il paragrafo 2.2.3);
- conservazione della qualità architettonica preesistente, anche quando brani architettonici siano di difficile recupero per le condizioni di degrado di strutture e paramenti;
- uso di materiali e tecniche costruttive originarie (o analoghe alla tradizione costruttiva);
- incentivazione del recupero nel rispetto delle risorse ambientali disponibili;
- conservazione totale della visuale paesaggistica del fabbricato nel contesto;
- recupero del costruito esistente solo con recupero e/o conservazione del contesto urbano, ambientale, rurale e paesaggistico;
- conferma dei caratteri tipologici e architettonici del manufatto, intervenendo, dove necessario, all'eliminazione di parti alterate e alla relativa ricostruzione secondo i presenti requisiti tecnici;
- categorica esclusione della sostituzione dei solai lignei o dei sistemi voltati con altri sistemi di copertura, in modo particolare con sistemi a solaio piano laterocementizi;
- categorica esclusione dello svuotamento, anche parziale, di sistemi murari e di tutti gli interventi che ne riducano gli spessori o che ne modifichino la composizione (ad esempio muri a concrezione, muri doppi con intercapedine, ecc.);
- adozione di strategie di intervento che prevedano la reversibilità delle trasformazioni;
- esclusione di modifiche ai prospetti esistenti fatta eccezione per la possibilità di rimettere in vista assetti morfotipologici preesistenti occultati da interventi incongrui recenti i quali potranno essere rimossi o attenuati; ogni intervento di modifica deve sempre essere chiaramente e fortemente motivato, sulla base di documentazione storica o saggi stratigrafici in situ dimostrando l'impossibilità di soluzioni progettuali alternative;
- esclusione di modifiche alle partizioni interne che alterino, in tutto o in parte, la statica originaria dell'edificio e ne compromettano la lettura originaria;
- conservazione e restauro di tutti gli elementi architettonici originali;
- riferimento al rilievo conoscitivo e al critico riscontro di soluzioni tradizionali presenti nel contesto locale, per desumere scelte operative sui trattamenti superficiali degli involucri esterni delle singole parti del manufatto (pietra o tufo facciavista, scialbature, intonaci, ecc.);
- conservazione delle finiture superficiali di volte e murature (pitture, intonaci, scialbature), ed eventuale integrazione o sostituzione esclusivamente con intonaci a calce, in tutte le parti originariamente provviste di intonaco;
- categorica esclusione dell'uso di intonaci cementizi.

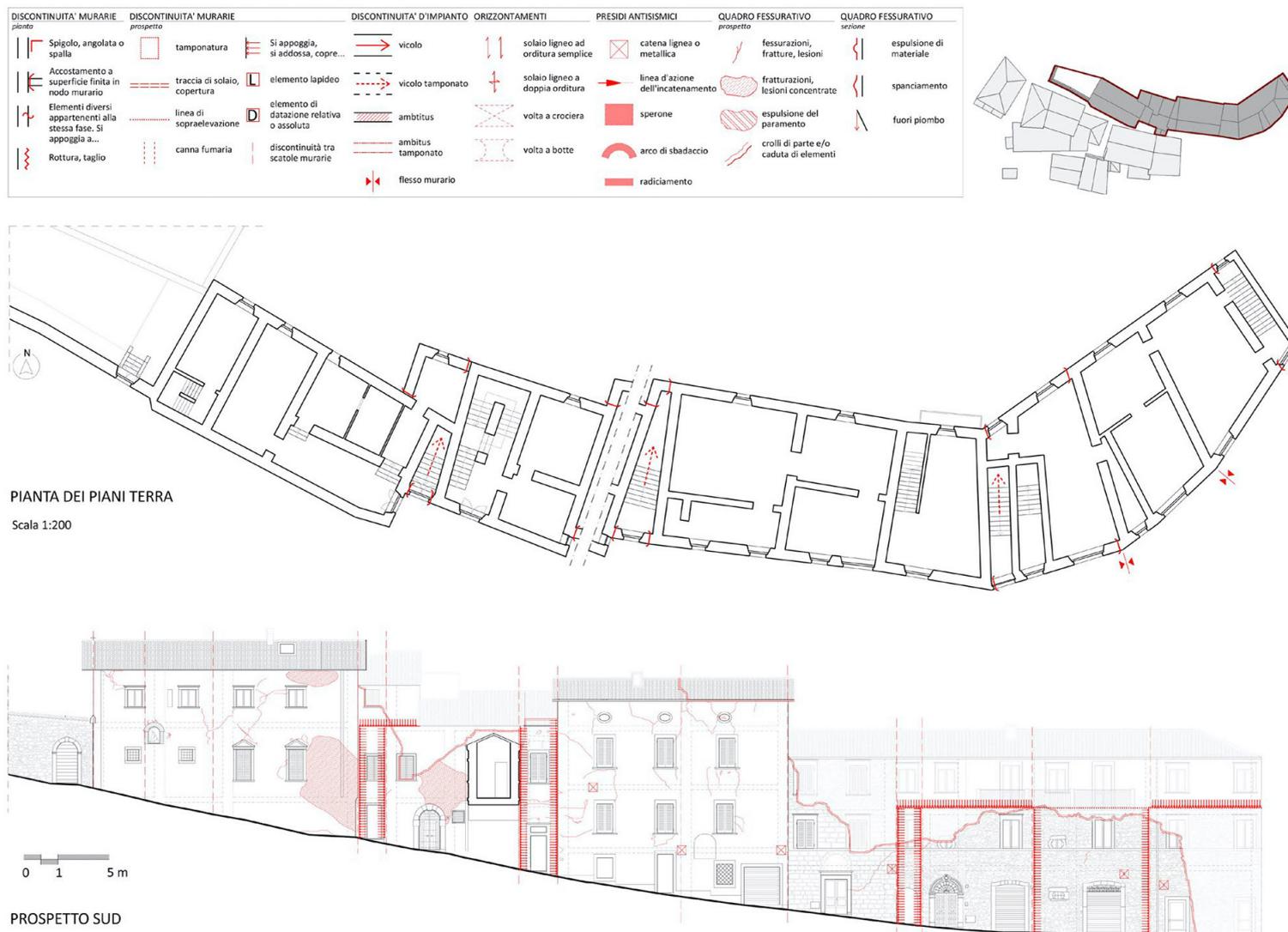
6.3. Interventi di restauro e messa in sicurezza nei centri storici: alcuni esempi

Michele Zampilli

Il progetto di restauro e messa in sicurezza del costruito storico deve prendere le mosse da un'approfondita conoscenza conseguente al rilievo geometrico, critico e costruttivo, come ampiamente descritto nel paragrafo curato da M. Canciani⁶. I risultati ottenuti dall'analisi dello stato di fatto indirizzano le scelte di progetto sia relativamente al miglioramento sismico che alla riconfigurazione architettonica.

Gli interventi avranno differenti gradi di incidenza sulle strutture esistenti in relazione alle caratteristiche materiche del costruito, allo stato di conservazione ed all'entità dei danni subiti in occasione di terremoti o altri eventi

⁶ Si veda, in questo volume, il paragrafo 2.2, *Il rilievo come strumento di indagine conoscitiva*, di M. Canciani



traumatici :

- conservazione integrale con consolidamento delle parti in buono stato di conservazione e di buona qualità;
- sostituzione di elementi costruttivi danneggiati o crollati o non adeguati strutturalmente;
- riconfigurazione o demolizione di parti incongrue rispetto alla tecnica muraria o al linguaggio architettonico.

Gli esempi che mostriamo si riferiscono a progetti didattici svolti nell'ambito del Laboratorio di progettazione del Master di II livello in Restauro e culture del patrimonio del Dipartimento di Architettura dell'Università Roma Tre relativi ad interventi di restauro e messa in sicurezza di alcuni centri storici dell'Appennino centrale fortemente danneggiati dal sisma del 2016-17⁷. Progetti che hanno l'obiettivo di coniugare una duplice esigenza: mettere in sicurezza gli edifici danneggiati migliorare le capacità di resistenza degli elementi strutturali senza rinunciare a conservare i loro caratteri identitari o, peggio, alterarli irreversibilmente.

Fig. 1 Rilievo critico e del quadro fessurativo di un isolato superstite di Arquata del Tronto (AP) colpita e distrutta dal sisma del 2016-17. (Cfr. Credits).

⁷ Il laboratorio di progettazione del Master in restauro e culture del patrimonio si è dedicato a progetti di restauro e ricostruzione di edifici e tessuti urbani danneggiati dal sisma dell'autunno-inverno 2016-17 in due annualità: nel 2017 e nel 2018. Il primo anno il caso di studio è stato il piccolo centro di Retrosi, nel Comune di Amatrice. I progetti sono pubblicati in Giovanetti, Zampilli (a cura di), 2018, pp. 242-266. Il secondo anno l'attenzione è stata rivolta agli isolati superstiti di Arquata del Tronto (AP). I progetti sono pubblicati in Zampilli, Brunori (a cura di), 2021, pp. 311-330.

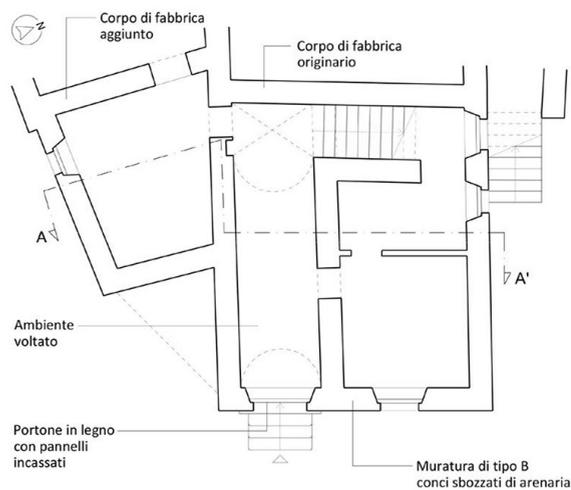
Fig. 2

Progetto di consolidamento e ricostruzione dei solai e delle coperture dello stesso isolato della figura 1. (Cfr. Credits).

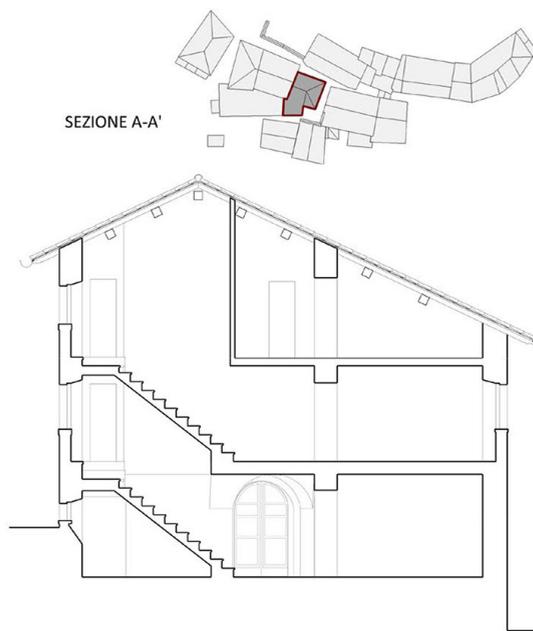


Fig. 3
 Rilievo critico e del quadro fessurativo di una casa superstite di Arquata del Tronto (AP) colpita e distrutta dal sisma del 2016-17. (Cfr. Credits).

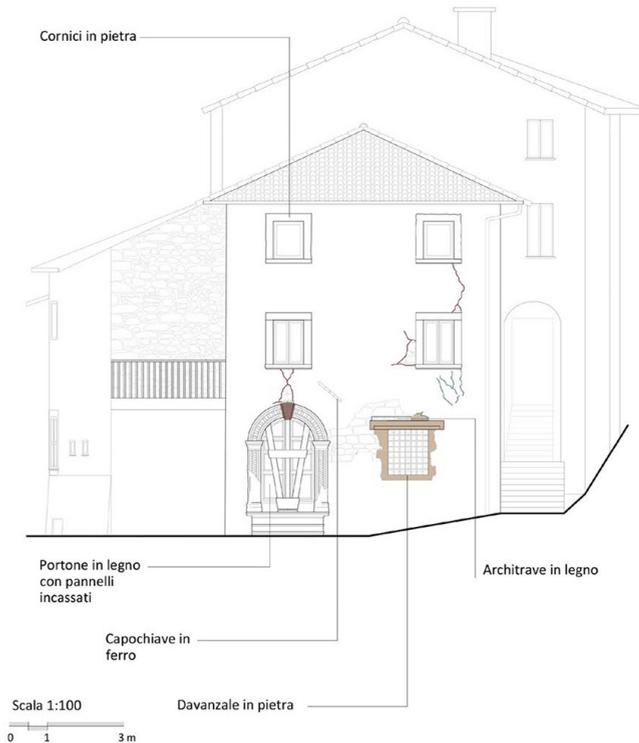
PIANTA PIANO TERRA



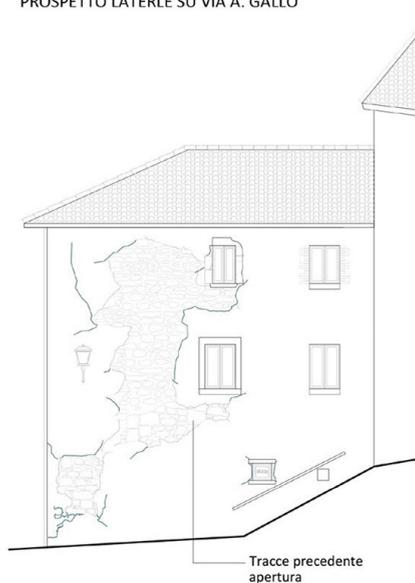
SEZIONE A-A'



PROSPETTO PRINCIPALE SU VIA B. SALADINI



PROSPETTO LATERALE SU VIA A. GALLO



LEGENDA

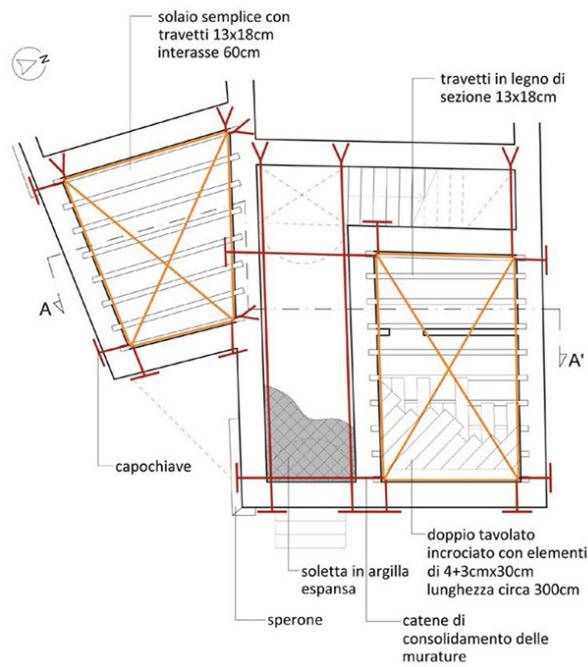
- Lesione superficiale non passante
- Lesione passante
- Distacco delle cornici delle bucatore
- Scorrimento verso il basso del conico di chiave
- Crollo di parti strutturali

A. Cretarola

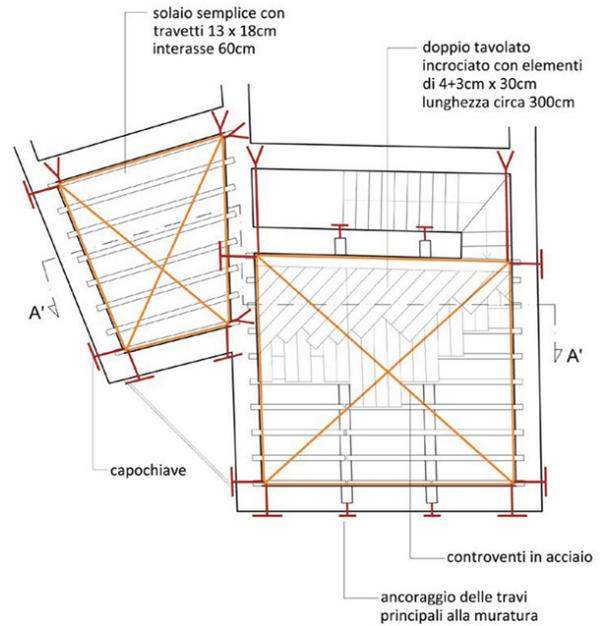
Fig. 4

Progetto di consolidamento e ricostruzione dei solai e delle coperture della stessa casa della figura 3. (Cfr. Credits).

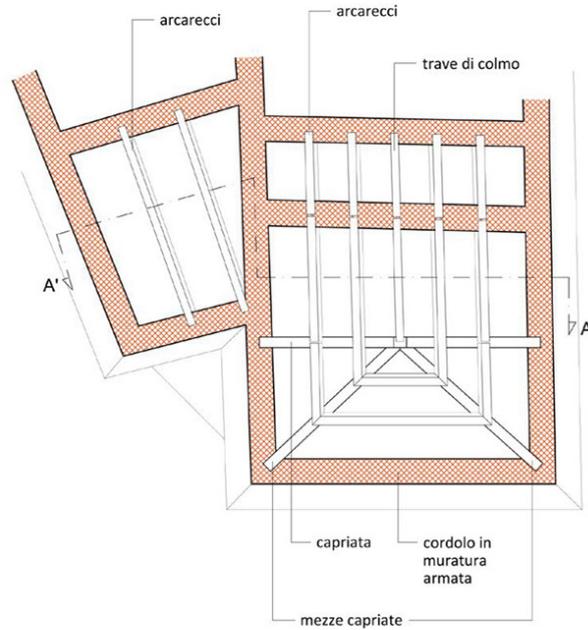
SOLAIO PRIMO IMPALCATO - PIANTA



SOLAIO SECONDO IMPALCATO - PIANTA

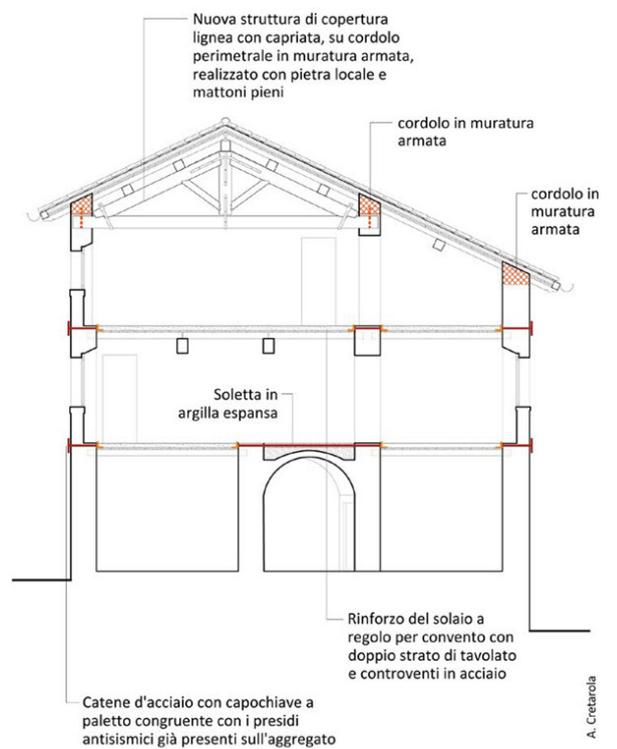


PIANTA DELLA COPERTURA



Scala 1:100
0 1 3 m

SEZIONE A-A'



A. Crebarola

Fig. 5
 Rilievo critico e del quadro fessurativo di una casa su pendio di Arquata del Tronto (AP).
 (Cfr. Credits).

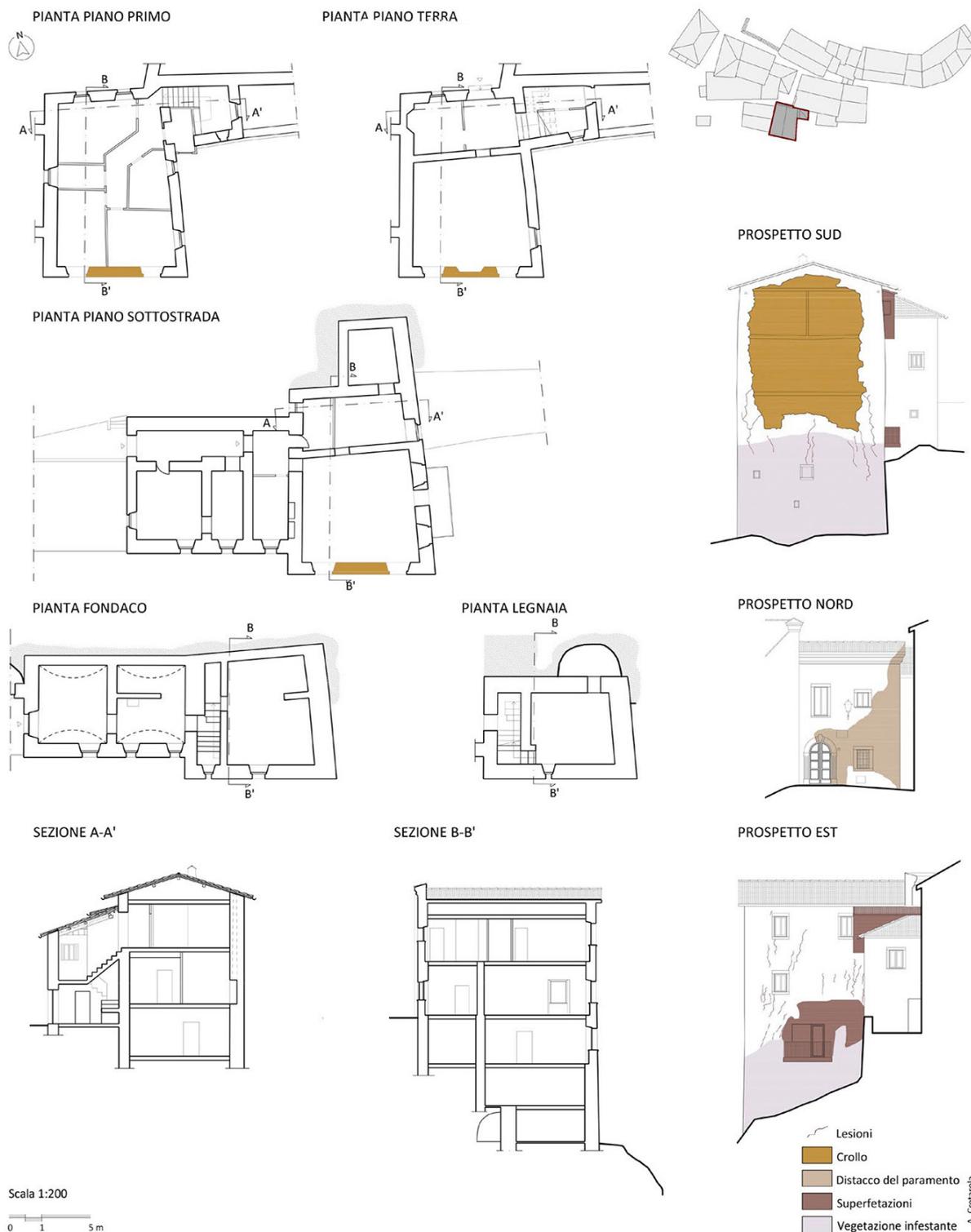
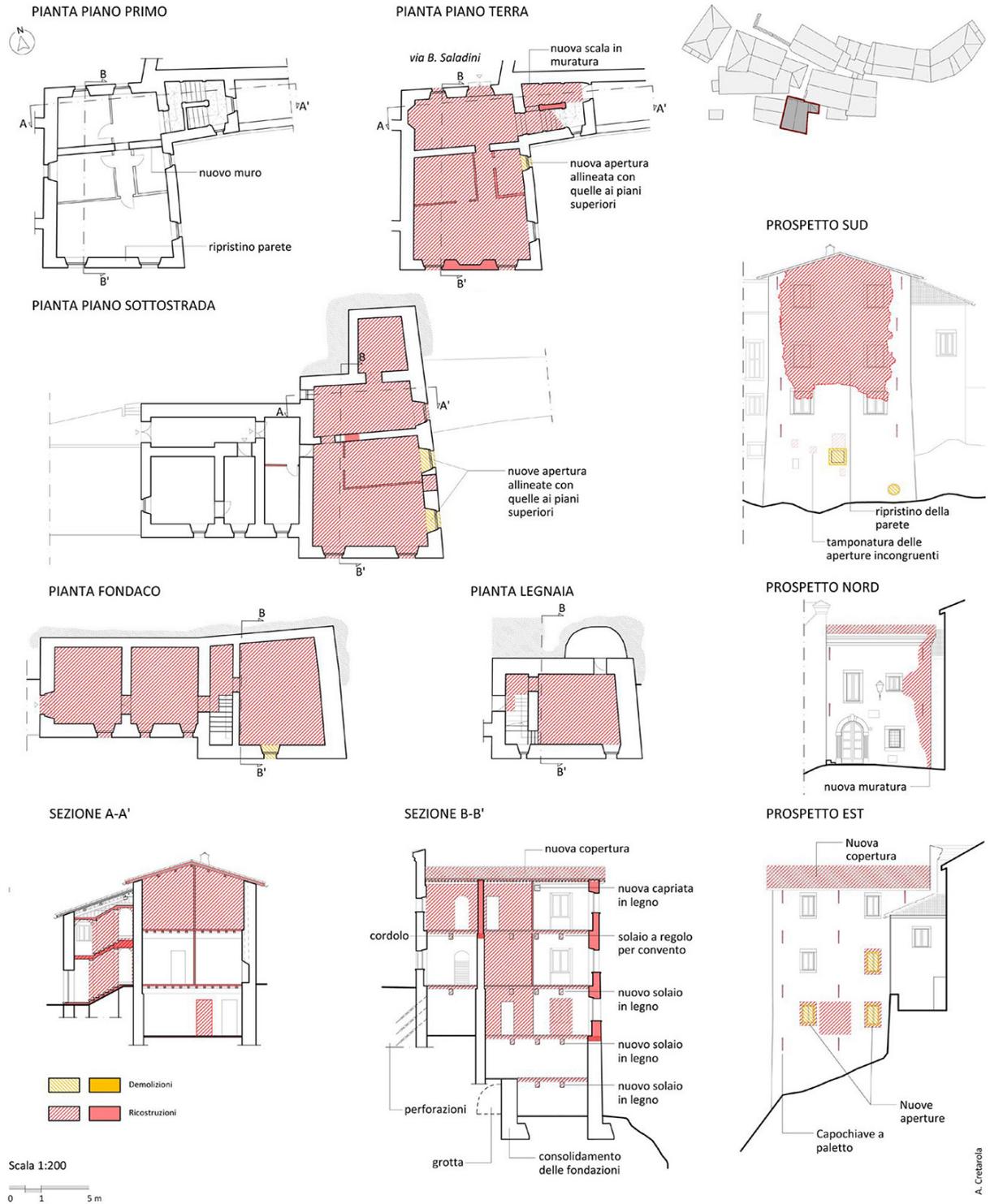


Fig. 6

Progetto di consolidamento e ricostruzione dei solai e delle coperture della stessa casa della figura 5. (Cfr. Credits).



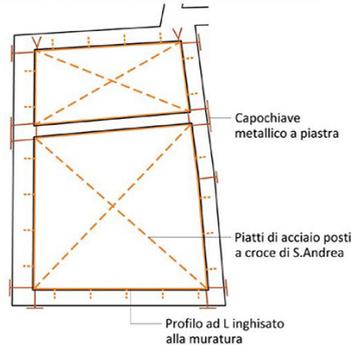
A. Cratola

Fig. 7
 Dettagli costruttivi dei solai ricostruiti.
 (Cfr. Credits).

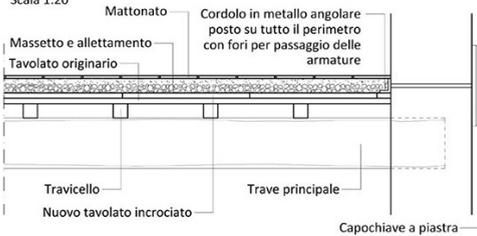
PIANTA DEL SOLAIO DEL PRIMO PIANO



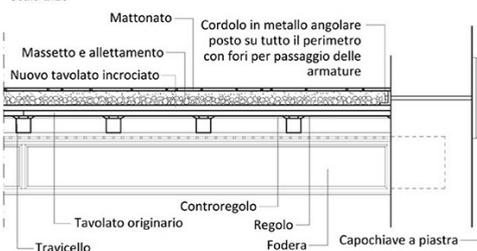
IRRIGIDIMENTO PLANARE DEL SOLAIO E MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA SCATOLA MURARIA



SEZIONE A-A'
 Scala 1:20



SEZIONE B-B'
 Scala 1:20



SEZIONE C-C'
 Scala 1:20

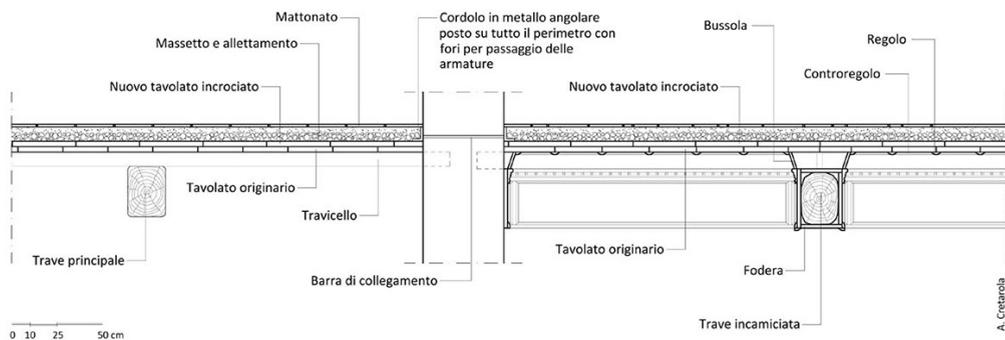


Fig. 8

Dettagli costruttivi dei solai delle coperture ricostruite.
(Cfr. Credits).

PIANTA DELLE COPERTURE



DETTAGLIO DELLA COPERTURA CON STRUTTURA A CAPRIATA

Scala 1:20

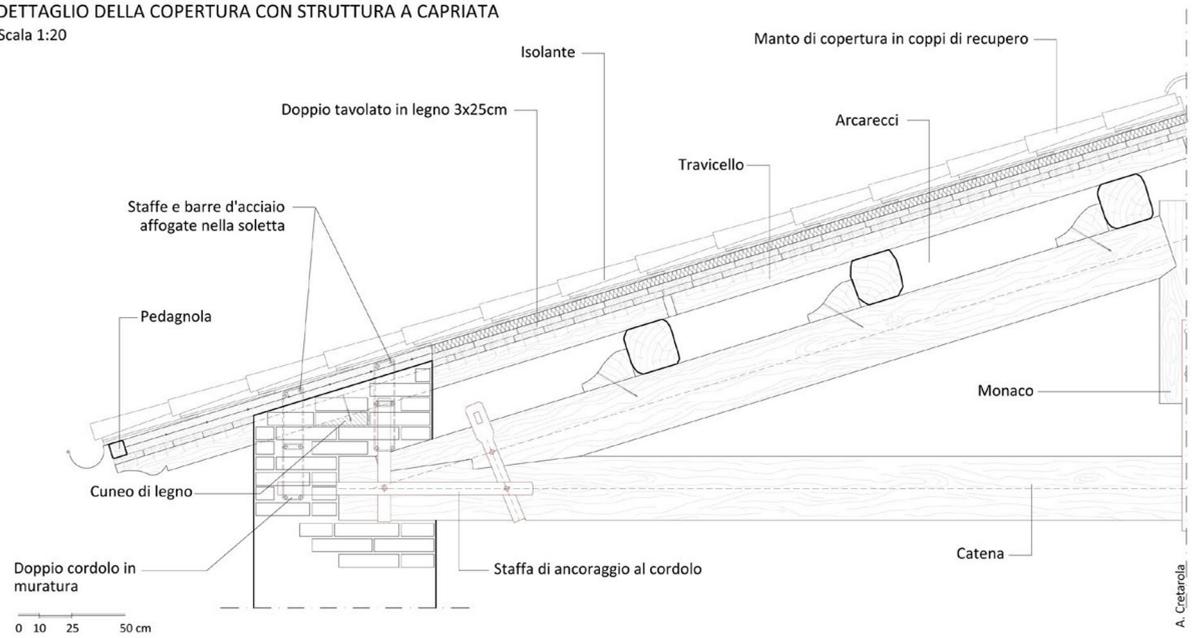


Fig. 9
 Progetto di restauro e
 ricostruzione parziale
 del Palazzetto Petrucci
 Cantalamessa a Trisungo
 (Arquata del Tronto).
 (Cfr. Credits).

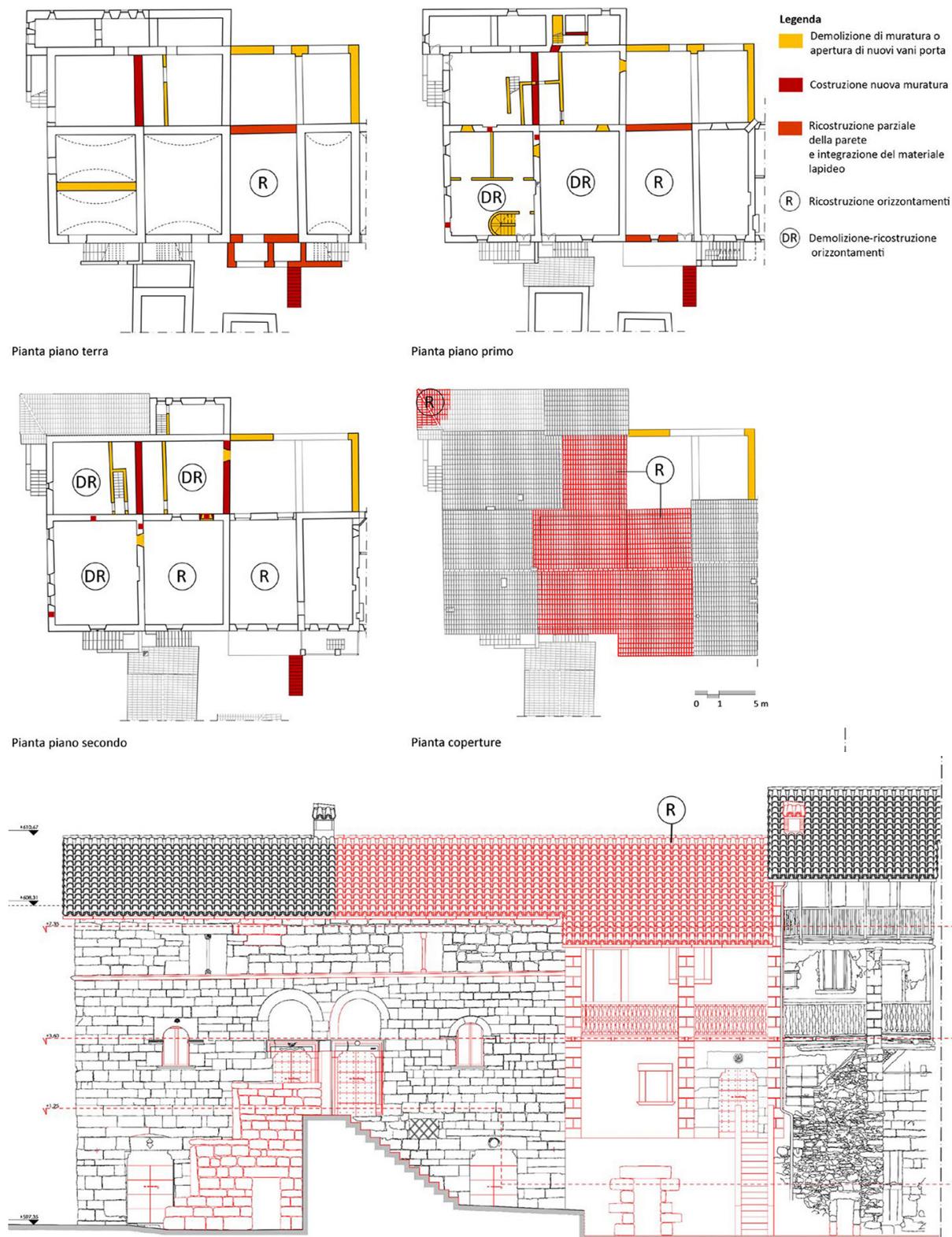
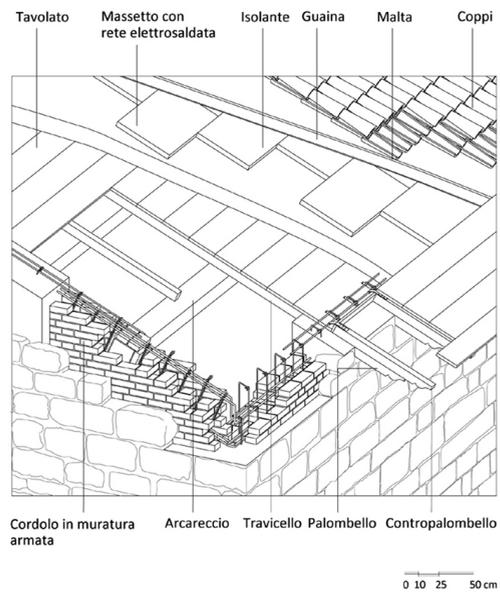
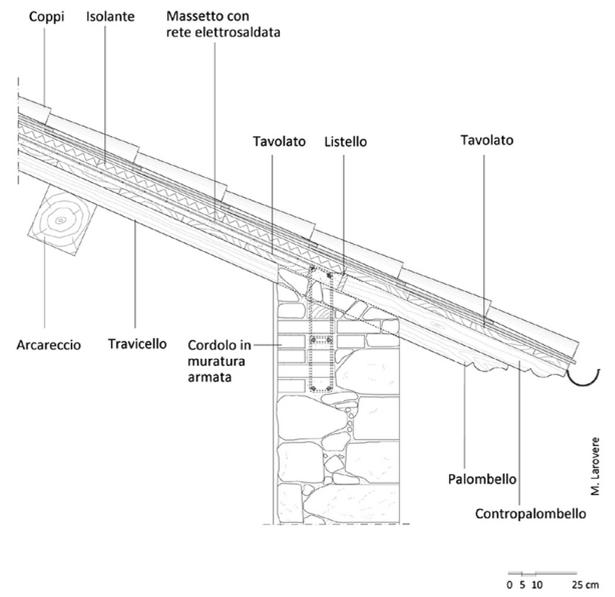


Fig. 10

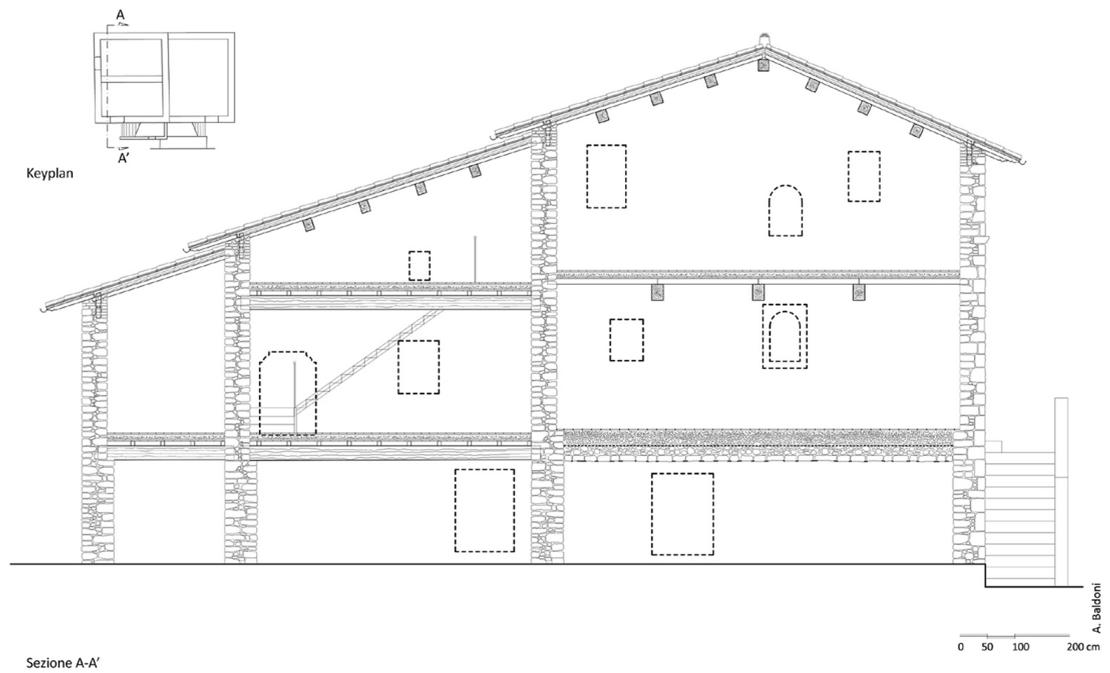
Dettagli costruttivi degli interventi di consolidamento del Palazzetto Petrucci Cantalamessa a Trisungo (Arquata del Tronto).
(Cfr. Credits).



Dettaglio assometrico del cordolo e del tetto



Sezione dello sporto



Sezione A-A'

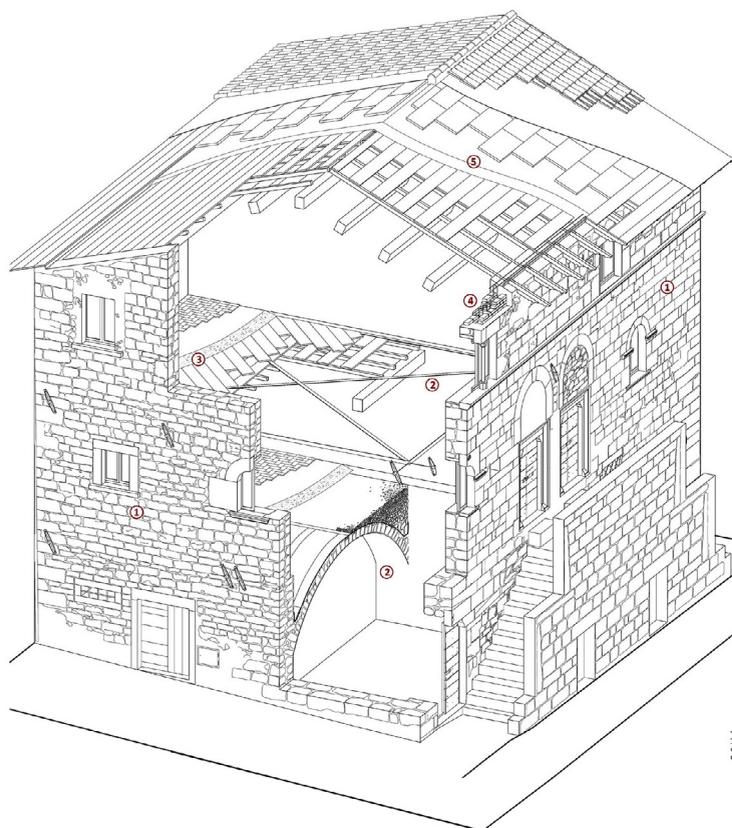


Fig. 11
Spaccato assonometrico con l'indicazione degli interventi di consolidamento e ricostruzione del Palazzetto Petrucci. (Cfr. Credits).

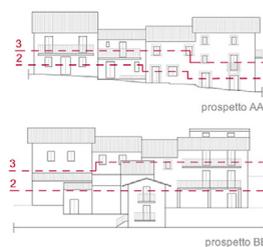


Fig. 12
L'intervento di miglioramento sismico ha come obiettivo principale la ricostituzione di un comportamento d'assieme di ogni scatola muraria attraverso tre principali tipologie di intervento: (1) sistema di incatenamenti a livello dei solai (angolari metallici), (2) cordolo sommitale in muratura armata, (3) nuovi maschi murari in mattoni nelle scatole murarie aventi pareti libere con luce notevole (cellula d'angolo). In relazione allo stato di conservazione e alla qualità delle murature, si prevede il consolidamento con iniezioni e diatoni artificiali o, alternativamente, la demolizione controllata e l'apparecchiamento con materiale lapideo di recupero e ricorsi in mattoni. (Cfr. Credits).

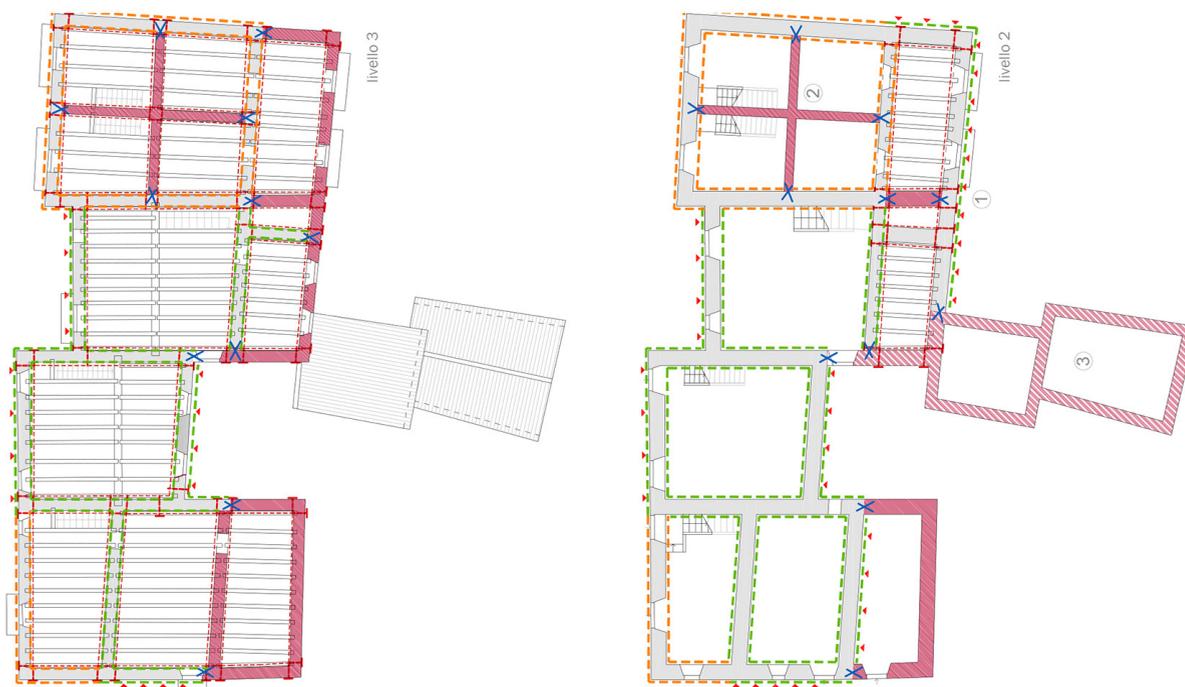
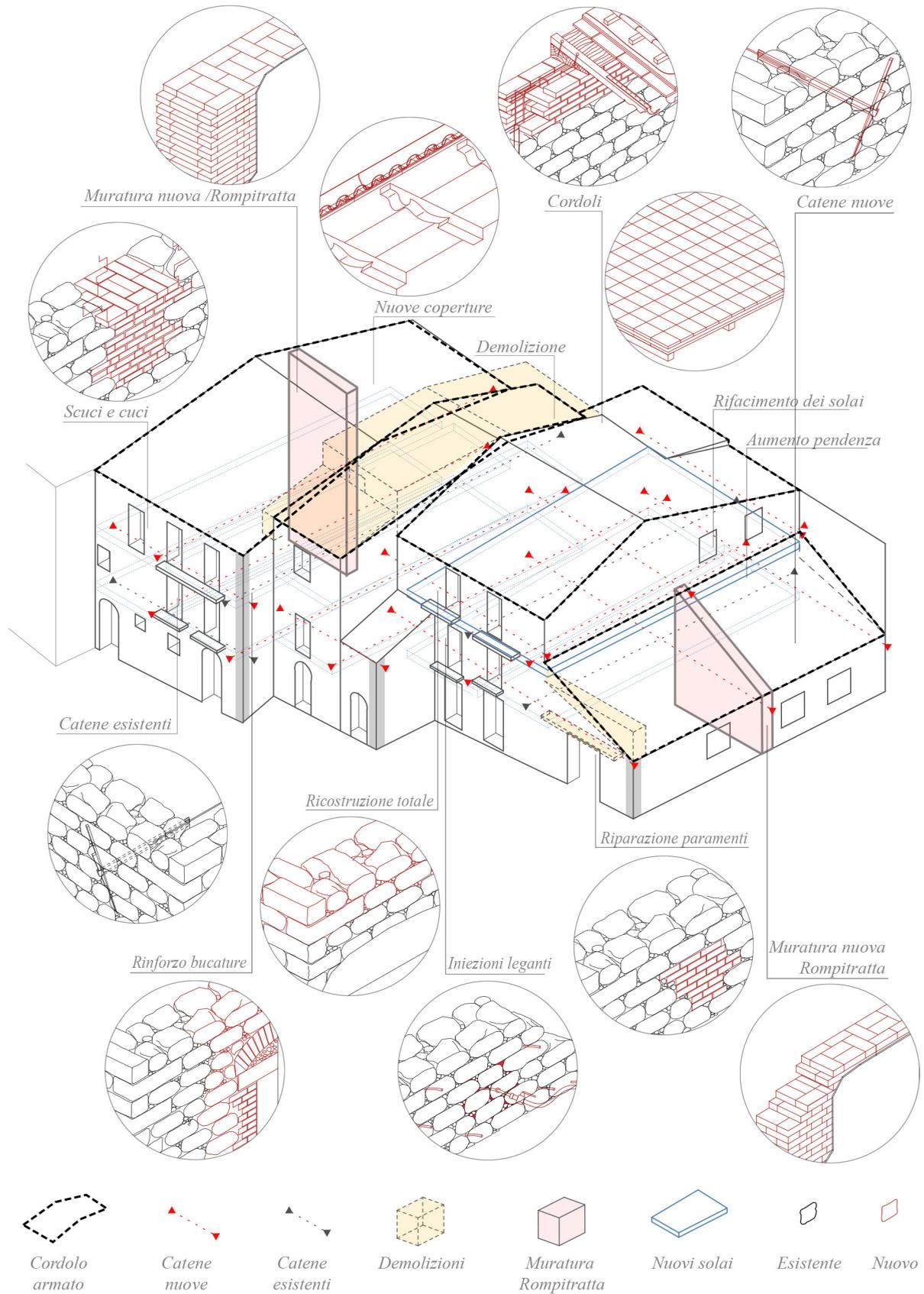


Fig. 13

Progetto di miglioramento sismico di un isolato di Retrosi (Amatrice). Schema degli interventi proposti (in rosso) e loro ubicazione: iniezioni nelle murature esistenti, inserimento di diatoni artificiali, cucì e scuci, incatenamenti, realizzazione di nuove murature, nuova copertura, sostituzione dei solai, cordoli in muratura armata. (Cfr. Credits).



6.4. Mitigazione del rischio sismico per le strutture

Alessandro Bergami

La prevenzione e la mitigazione del rischio sismico per il patrimonio edilizio esistente rappresenta un tema di estrema attualità in Italia essendo, questo, un paese caratterizzato da un elevato rischio sismico per la maggior parte del territorio nazionale ed in particolare in gran parte delle zone interne.

A rafforzare l'importanza del tema vi è la constatazione che la maggior parte del costruito esistente, sia quello storico che quello più recente, è stato realizzato secondo criteri che non sempre hanno tenuto conto della componente sismica seppur, come si è avuto modo di evidenziare, in passato è esistita una cultura sismica locale che ha consentito, con mezzi empirici, di salvaguardare buona parte dell'edilizia di antica formazione. A questo proposito, occorre sottolineare che proprio la progressiva e, via via, più approfondita conoscenza delle tecniche costruttive dell'edilizia tradizionale ha consentito una maggiore accuratezza nei criteri di valutazione del rischio sismico e nelle conseguenti azioni di mitigazione.

È pertanto necessario che una qualsiasi attività indirizzata alla mitigazione e alla prevenzione del rischio sismico sulle strutture passi preliminarmente per una fase di studio, per poi convergere sulla scelta delle strategie da mettere in atto sino alla definizione della tecnologia più idonea per eseguire eventuali interventi strutturali.

L'analisi di vulnerabilità del costruito parte necessariamente da un approccio conoscitivo e, compatibilmente con il livello di approfondimento possibile, deve spingersi sino alla scala del singolo corpo di fabbrica che è parte dell'edificio studiato. In una fase iniziale, quindi, verranno definite le caratteristiche generali e le relazioni tra l'edificio ed il contesto attraverso lo studio della topografia dell'area e la verifica delle adiacenze con altri edifici, essendo la maggior parte dell'edificio storico costituito da un'aggregazione seriale di scatole edilizie il cui funzionamento strutturale è fortemente connesso.

Successivamente, attraverso progressive fasi di approfondimento, si procede al riconoscimento del funzionamento strutturale, sia in termini di concezione e tipologia strutturale che di caratteristiche dei materiali e di tecniche realizzative adottate; tale attività è generalmente eseguita anche avvalendosi di un'analisi storico-critica che consente di individuare le tradizioni costruttive del luogo, con specifico riferimento all'edificio in esame, col fine di indirizzare in maniera più consapevole sia le indagini conoscitive (rilievo geometrico e strutturale, campagna di indagini su elementi e materiali) sia le ipotesi che necessariamente debbono essere fatte per definire strutturalmente l'edificio del quale non potranno mai essere riscontrate, in maniera diretta (prove sperimentali) o indiretta (recupero degli elaborati progettuali), tutte le specifiche. Il livello di conoscenza dell'edificio raggiunto sarà dunque influenzato dall'accuratezza di un piano di indagini che, a seconda del livello di approfondimento possibile (con riferimento alla NTC 2018 si individuano 3 livelli di conoscenza (LC): LC1, LC2 e LC3), caratterizzerà le analisi strutturali che seguiranno (a ciascun LC è correlato un fattore di confidenza (FC) da utilizzare nelle analisi strutturali).

Per gli edifici compresi nei centri storici prospettanti su strade e piazze pubbliche, si dovrà fare riferimento alla Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 9/02/2011 "Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 le cui finalità, riferite alle sole costruzioni in muratura, sono quelle di specificare un percorso di conoscenza e valutazione del livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche per giungere a un progetto degli interventi opportunamente adattato alle esigenze e peculiarità del patrimonio culturale.

Lavorando al livello di approfondimento del singolo edificio la fase conoscitiva si conclude con la raccolta di tutte le informazioni utili all'esecuzione di un'indagine di vulnerabilità sismica sempre propedeutica alla progettazione di un eventuale intervento di miglioramento/adeguamento sismico; la vulnerabilità sismica è la propensione di una struttura a subire un danno di un determinato livello, a fronte di un evento sismico di una data intensità.

Le informazioni necessarie per poter procedere ad una valutazione di vulnerabilità sono:

- analisi storico critica dell'edificio;
- rilievo geometrico strutturale;
- progettazione ed esecuzione di una campagna di indagini conoscitive su materiali ed elementi strutturali;
- elaborazione di tutte le informazioni col fine di determinare le caratteristiche fisiche e meccaniche che caratterizzeranno un modello numerico dell'edificio su cui eseguire le analisi di vulnerabilità statica e sismica.

L'analisi di vulnerabilità può essere condotta col fine di accertare lo stato di una struttura che ha subito un evento sismico oppure, in un'ottica di prevenzione del rischio sismico, per valutare l'eventuale necessità di interventi di adeguamento/miglioramento strutturale finalizzati al raggiungimento di un desiderato livello prestazionale e dunque di predefiniti standard di sicurezza. Quest'ultima condizione, certamente la più complessa, si

fonda esclusivamente sui risultati dell'analisi conoscitiva come unico strumento disponibile per poter simulare una condizione sismica e valutarne gli effetti sia sulle strutture che sulle componenti non strutturali presenti nel manufatto investigato; una delle cause principali di morte durante un terremoto è il crollo delle componenti non strutturali quali ad esempio le tamponature o le controsoffittature.

L'analisi di vulnerabilità sismica può essere condotta avvalendosi di approcci che possono essere distinti in analisi di tipo statico o in analisi di tipo dinamico, ciascuna delle quali può essere condotta utilizzando modelli lineari o non lineari (cfr. Par. 3.3). Tra gli strumenti più applicati in letteratura si citano le curve di fragilità, che esprimono la probabilità di superamento di un dato stato di danno in funzione dell'intensità, e le analisi basate sull'utilizzo delle curve di capacità, ovvero curve tramite le quali si confronta in maniera diretta la domanda sismica con la capacità manifestata dalla struttura attraverso l'esecuzione di un'analisi statica non lineare (pushover). Quest'ultimo approccio, per complessità di esecuzione ed onere computazionale, è certamente il più adatto ad un uso estensivo che può essere condotto avvalendosi di differenti metodologie ampiamente discusse in letteratura e note come analisi statiche non lineari; tra queste hanno recentemente trovato riscontro internazionale ed ampia applicazione, sia sugli edifici che sui ponti, quelle dette "pushover multimodali" come ad es. la Modal Pushover (Goel *et al.*, 2004) o l'Incremental modal pushover analysis (Bergami *et al.*, 2017).

In linea generale sono possibili 3 tipologie di intervento sulle strutture esistenti col fine di ridurne la vulnerabilità. Tali interventi rappresentano attività che consentono di raggiungere un livello di vulnerabilità sismica tale per cui l'edificio esistente raggiunge degli standard inferiori o pari a quello che caratterizza una nuova costruzione.

Le tipologie sopra citate sono:

1. interventi di adeguamento sismico: sono particolari interventi atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle stesse norme tecniche attuabili per le costruzioni nuove. L'adeguamento sismico della costruzione comporta che il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento;
2. interventi di adeguamento miglioramento sismico: sono interventi atti ad aumentare il livello di sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalla norma per le nuove costruzioni. Rientrano nella categoria di miglioramento sismico tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate. Il progetto e la valutazione della sicurezza dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme;
3. interventi di riparazione o interventi locali che interessino elementi isolati e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti. Gli interventi di questo tipo riguardano singole parti della struttura e interessano porzioni limitate della costruzione. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti interessate.

Esistono numerose metodologie finalizzate alla progettazione di interventi adeguamento/miglioramento sismico delle strutture ed in particolare degli edifici. La scelta di tali tecniche è condizionata in prima battuta dalla tipologia strutturale (es. edificio in muratura oppure edificio a telaio in c.a.) e poi in base all'approccio scelto ovvero: rinforzo strutturale oppure riduzione della domanda sismica (es. isolamento sismico alla base), incremento della capacità dissipativa della struttura (utilizzo di sistemi addizionali di dissipazione dell'energia: es. controventi dissipativi).

Pertanto, tra le numerose tecniche a disposizione, alcune tradizionalmente adottate e dunque ben note e di larga diffusione ed altre più sofisticate e che necessitano di analisi più complesse, il progettista ha la possibilità di selezionare quella che appare essere più efficace per ciascun caso specifico. In generale le metodologie precedentemente citate possono essere utilizzate in maniera integrale (es. solo rinforzo di elementi strutturali) o anche associata all'utilizzo delle tecniche e delle tecnologie non convenzionali quali ad esempio i sistemi addizionali di dissipazione dell'energia (es. controventi dissipativi ed interventi di rinforzo localizzati su alcuni elementi strutturali).

Tra gli approcci non convenzionali possiamo citare due metodologie che per diffusione possono essere considerate ben consolidate:

- l'isolamento sismico: consiste nell'inserire, generalmente tra la sovrastruttura e le fondazioni (o un corpo interrato), dei dispositivi detti isolatori sismici caratterizzati da una elevata flessibilità orizzontale. Tali dispositivi consentono di disaccoppiare il moto tra struttura e terreno riducendo l'energia cinetica in ingresso durante l'evento sismico. Un vantaggio che ne consegue è dunque la forte limitazione dei danni, anche a seguito di eventi sismici rilevanti.
- controventi dissipativi: questa tecnica consente di ridurre la domanda sismica poiché si adottano dei dispositivi dissipativi, installati su controventi, in grado di offrire un incremento della dissipazione ed

una redistribuzione della rigidità. Con tale tecnica è possibile controllare lo spostamento di interpiano (spesso correlato con importanti danni ad elementi non strutturali) ed aumentare lo smorzamento sismico della struttura controllandone la risposta fino all'ottenimento dell'obiettivo prestazionale desiderato sia in termini di controllo degli spostamenti che di limitazione delle forze.

La maggior parte del costruito presente nei centri storici è costituito da edifici in muratura per i quali gli interventi di consolidamento generale, ivi compresi quelli per miglioramento e adeguamento sismico, dovranno essere progettati in modo tale da non alterare in nessun modo il funzionamento "scatolare" dell'ossatura resistente, dovendosi comprendere in quest'ultima tanto le strutture verticali quanto le strutture orizzontali intermedie e di copertura. In particolare, è assolutamente esclusa la possibilità di aprire o allargare vani porta o vani finestra per più di un terzo dello sviluppo lineare in pianta del pannello di muratura interessato e, comunque, con ampiezza tale da lasciare un setto murario integro di lunghezza non inferiore a 1.00 m, al netto degli spessori, fino all'innesto murario più vicino. In corrispondenza di tali aperture va comunque predisposto un opportuno dispositivo, dello stesso tipo di quelli già in opera nel medesimo edificio, avente l'ufficio statico di ricostituire, al di sopra di esso, la continuità strutturale dell'elemento murario resistente.

Nel caso in cui le strutture verticali murarie presentino fenomeni di degrado dell'adesività delle malte, occorre procedere mediante l'uso di malte di calce, non cementizie, anche nel caso in cui si decidesse di intervenire mediante iniezioni di miscele consolidanti o mediante intonaco rinforzato con fibre naturali. Al fine di evitare l'introduzione di alterazioni pregiudizievoli, alla distribuzione delle rigidità, soprattutto in zona sismica, si sconsiglia l'uso della suddetta tecnica dell'intonaco armato su tutti i setti murari del sistema resistente. È ammesso, inoltre, l'uso del cemento armato solo per il consolidamento delle strutture di fondazione.

In generale, il progetto di consolidamento, da elaborare comunque secondo quanto disposto dalla normativa tecnica nazionale, deve prevedere un insieme sistematico di opere estese diffusamente ed organicamente a tutto il sistema resistente.

In tema della sostituzione di elementi strutturali, dovrà essere impiegata la massima cautela. Tanto le integrazioni strutturali, quanto le riparazioni, vanno eseguite senza fare ricorso a materiali cementizi o di sintesi chimica così come a qualunque altra tecnologia che risulti estranea al sistema costruttivo originario. I materiali da impiegare, anche per i semilavorati, vanno reperiti in loco e, solo dopo aver accertato e documentato la loro irreperibilità, si può procedere all'approvvigionamento da altre aree geografiche.

Relativamente alle costruzioni in muratura soggette alla Direttiva 15/2008, l'ultimo capitolo delle Linee Guida indica i criteri per il miglioramento sismico e le tecniche d'intervento, privilegiando gli interventi meno invasivi e più compatibili con i criteri della conservazione. E privilegiando, per quanto possibile, la riparazione piuttosto che la sostituzione.

In particolare vengono esaminati:

1. **Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti pareti-pareti e pareti-solai:**
 - a. (inserimento di tiranti a livello di solai;
 - b. cerchiature esterne con elementi metallici o materiali compositi;
 - c. ammorsamenti tra parti adiacenti o tra murature che si intersecano, con la tecnica scuci e cucì (con elementi lapidei o in laterizio);
 - d. cordoli in sommità alla muratura per collegare le pareti, in una zona dove la muratura è meno coesa e per migliorare l'interazione con la copertura;
2. **Interventi volti a ridurre le spinte di archi e volte e al loro consolidamento:**
 - a. inserimento di catene;
 - b. contrafforti i ringrossi murari;
 - c. placcaggio con fasce di materiale composito o sottarco in murature per spinte a vuoto;
 - d. riduzione dei carichi all'estradosso;
 - e. consolidamento delle murature.
3. **Interventi volti a ridurre l'eccessiva deformabilità dei solai ed al loro consolidamento:**
 - intervento di leggero irrigidimento:
 - secondo tavolato sovrapposto a quello esistente, disposto con andamento ortogonale o inclinato;
 - rinforzi con bandelle ad andamento incrociato con elementi metallici o con materiali compositi;
 - controventamento realizzato con tiranti metallici.
 - intervento di consolidamento statico del solaio per le azioni flessionali:
 - secondo tavolato, con tavoloni ortogonali collegati alle travi;
 - rinforzo con soletta collaborante in calcestruzzo;

- con sottili caldane armate in calcestruzzo alleggerito all'estradosso (solai a travi in legno e piastrelle di cotto);
 - collegamento dei profili con bandelle metalliche trasversali, poste all'intradosso o all'estradosso (solai a struttura metallica con interposti elementi in laterizio).
4. **Interventi in copertura**
- a. interventi di compensazione della spinta per tetti con orditure spingenti;
 - b. irrigidimenti delle falde con tavolati sovrapposti e incrociati o con controventi posti all'intradosso;
 - c. limitazione delle masse nella parte più alta dell'edificio;
 - d. interventi per rendere più efficace il collegamento nei nodi delle capriate;
 - e. interventi atti a sviluppare collegamenti e connessioni reciproche tra la parte terminale della muratura e le orditure e gli impalcati del tetto
5. **Interventi volti a incrementare la resistenza degli elementi murari:**
- interventi di scuci e cucì finalizzati a:
 - ripristino della continuità muraria lungo le linee di fessurazione e risanamento di porzioni di muratura gravemente deteriorate;
 - risanamento e riparazione localizzate di parti di murature deteriorate e danneggiate;
 - ricostituzione della compagine muraria in corrispondenza di manomissioni quali cavità, vani di varia natura (scarichi e canne fumarie, ecc).
 - miglioramento delle proprietà meccaniche della muratura:
 - iniezioni di miscele leganti; ristilatura dei giunti;
 - tirantature diffuse nelle tre direzioni ortogonali (murature di piccola pezzatura);
 - tiranti verticali post-tesi.
 - miglioramento del collegamento tra i paramenti murari:
 - con diatoni artificiali;
 - con tirantini antiespulsivi;
 - perforazioni armate
 - rinforzo flessionale mediante placcaggio con tessuti o lamine in materiale fibro-rinforzato previa verifica dell'efficacia a livello locale e/o di comportamento globale.
6. **Interventi su pilastri e colonne**
- a. incremento/ripristino resistenza a sforzo normale:
 - cerchiature e tassellature;
 - incollaggi con resine;
 - inserimento di anime metalliche in asse alla colonna o di tiranti verticali precompressi.
7. **Interventi in fondazione**
- allargamento delle fondazioni - collegamento alla vecchia fondazione con:
 - travi in c.a.;
 - traversi in acciaio;
 - barre post-tese;
 - impiego di sottofondazioni profonde localizzate ;
 - consolidamento dei terreni di fondazione.

Altri interventi con tecniche e materiali più innovativi quali l'utilizzo di fasciature attive o di rinforzi con nastri in FRP o i sistemi CAM e "Reticcus", potranno essere valutati volta per volta in relazione alle caratteristiche delle strutture murarie su cui si interviene, alla necessità di conservare i paramenti murari da mantenere in vista per la presenza di assetti architettonici di pregio o per particolari finiture superficiali da conservare.

6.5. Mitigazione del rischio idrologico/idraulico

Elena Volpi

Il rischio idraulico cui è soggetto il territorio è in rapida crescita a causa di differenti fattori quali il cambiamento demografico, il cambiamento nella destinazione d'uso dei suoli, la variabilità e il cambiamento climatico, le condizioni socio-economiche, lo sviluppo industriale e il generale aumento dei beni esposti nelle aree soggette al rischio. Il grosso degli interventi economici nel settore è riservato alla gestione del post-evento e costituisce, di fatto, una ripartizione del danno, piuttosto che una riduzione del danno stesso. L'attenuazione del danno atteso o (rischio) richiede, invece, interventi preventivi, sia strutturali, per la riduzione della probabilità e dell'intensità dell'evento dannoso, sia normativi, per ridurre della vulnerabilità delle aree soggette all'evento.

Gli interventi di tipo strutturale sono le opere che consentono di aumentare la capacità di trasporto dell'alveo, come le arginature fluviali o le sistemazioni d'alveo, o di ridurre la portata di piena tramite la realizzazione di invasi di laminazione, diversivi e scolmatori. Fra gli interventi non strutturali si annoverano i vincoli di destinazione d'uso del territorio, la stipula delle assicurazioni per i beni che si trovano nelle aree a rischio e i piani di protezione civile.

La definizione degli interventi più adeguati alla mitigazione del rischio idrologico/idraulico avviene tenendo conto dei vincoli preesistenti sul territorio di tipo geomorfologico (limitata disponibilità di aree per l'espansione naturale o controllata delle piene) e di tipo antropico (come la presenza di infrastrutture strategiche). La scelta della tipologia di intervento e il suo dimensionamento vengono effettuati utilizzando modelli idraulici più o meno complessi in grado di simulare la propagazione dei deflussi in presenza delle opere (ad esempio modelli di propagazione in moto vario o in moto permanente, a seconda che la struttura di difesa dipenda o meno dal volume complessivo di acqua che transita nel tratto di corso d'acqua di interesse).

Gli interventi di tipo strutturale vengono adottati per mettere in sicurezza area già a rischio (dove insistono beni o persone) e per consentire lo sviluppo economico in aree solo potenzialmente a rischio, ossia inondabili. La gestione del rischio d'alluvione consiste nel proteggere le aree interessate fino ad un prefissato valore del tempo di ritorno, in pratica dimensionando le opere di difesa per eventi di progetto con tale intervallo temporale medio (o probabilità) di accadimento. Tale valore è stabilito sulla base di considerazioni di carattere generale sulle potenziali conseguenze negative derivanti dall'insufficienza per tempi di ritorno più elevati. Questo approccio, seppur semplifichi notevolmente il problema del dimensionamento delle opere, non considera esplicitamente il costo delle stesse in relazione all'effettivo beneficio indotto dalla loro realizzazione, come peraltro prescritto dalla normativa vigente. Per tempi di ritorno maggiori si interviene adottando strumenti di pianificazione, non strutturali, quali i piani di protezione civile per l'evacuazione della popolazione e la messa in sicurezza dei beni (parte integrante del PGRA).

L'efficacia degli interventi di riduzione del rischio deve essere misurata tramite l'analisi costi-benefici. La valutazione dei costi deve tener conto del costo delle opere, del cambiamento d'uso delle aree e delle ricadute ambientali. La valutazione dei benefici si esprime in termini di riduzione dei danni attesi, ossia del rischio, riguardanti la perdita di vite umane, danni alla salute, distruzione di beni, interruzione dei servizi e danni ambientali causati dall'evento calamitoso. In un'ottica di massima economia è necessario progettare la dimensione delle opere e quindi stabilire il tempo di ritorno di progetto in modo che si minimizzi la somma del costo delle opere e del rischio residuo, dovuto al verificarsi di eventi per i quali l'opera non è in grado di resistere. Tale approccio, noto come "Risk based decision making" ed adottato oggi come standard progettuale dalle U.S. Federal Agencies, mette al centro del problema la valutazione del rischio residuo. Alla stima del rischio residuo, che può includere condizioni d'insufficienza per eventi meno intensi di quelli di progetto, concorrono diversi aspetti non ancora codificati. Infine, la valutazione degli interventi finalizzati alla mitigazione del rischio deve tenere conto dell'incertezza risultante dalla modellazione, perché le azioni destinate a ridurre questa incertezza devono essere incluse nella valutazione.

6.6. Mitigazione del rischio frana

Paola Molin

La mitigazione del rischio da frana deve iniziare dalla realizzazione di una carta della suscettibilità da frana basata sul censimento dei fenomeni già presenti e sullo studio delle caratteristiche geologiche e geometriche dei versanti. Da questa viene ricavata una carta della pericolosità che sarà di base poi per la valutazione del rischio (cfr. Par. 3.5).

Gli interventi per la mitigazione del rischio possono essere mirati a ridurre le forze agenti o ad aumentare le forze resistenti presenti sul versante. In generale, nel primo caso gli interventi tendono ad essere più complessi e onerosi (es. riprofilatura del versante, ancoraggi, opere di sostegno).

L'aumento delle forze resistenti può avvenire con interventi più costosi mirati ad aumentare gli sforzi normali alla superficie di scorrimento (es. ancoraggi) o la resistenza al taglio delle rocce (es. iniezioni); in alternativa, la riduzione delle pressioni interstiziali raggiunta allontanando le acque di scorrimento superficiale (canalette) e abbattendo la falda (es. dreni orizzontali) può essere un tipo di intervento facilmente applicabile e meno oneroso per la mitigazione delle frane. Infine, il monitoraggio di questi fenomeni potrebbe avvenire attraverso l'utilizzo di piezometri per la valutazione del livello della falda o di inclinometri ed estensimetri per il calcolo della velocità di movimento.

6.7. Monitoraggio e mitigazione del rischio radon

Paola Tuccimei, Michele Soligo

Dopo una valutazione preliminare del rischio radon ed un eventuale approfondimento degli studi sulle aree prioritarie, è necessario procedere al controllo delle concentrazioni di radon indoor negli edifici già esistenti nelle aree con potenziale radon (RP) >10, corrispondente ad un indice radon (RI) medio o alto (vedi Tabella 1 Par. 3.6.1). Qualora si riscontrassero superamenti dei livelli di legge, si dovrebbe intervenire sull'edificio.

Il patrimonio edilizio italiano è costituito principalmente da costruzioni in muratura portante. Questo è dovuto alla storia del Paese, e soprattutto alla cultura della conservazione tramandata nel corso dei secoli, che consiglia di restaurare e mantenere gli edifici, non solo storici, piuttosto che demolire e ricostruire con tecnologie, materiali e sistemi innovativi. La maggior parte degli edifici di molte città della Regione Lazio, per esempio, è stata costruita con materiali locali o vulcanici, con un alto contenuto di ²²⁶Ra, cui sono associate elevate concentrazioni di radon indoor.

Molti fattori influenzano l'ingresso del radon negli edifici: le caratteristiche fisiche del suolo, i materiali da costruzione, la forma e i rapporti tra altezza, lunghezza e larghezza dell'edificio, il tipo di fondazione, i parametri ambientali, il comportamento umano e gli stili di vita. Per le azioni di mitigazione è molto importante conoscere il sistema di fondazione dell'edificio. Nelle costruzioni in muratura, la fondazione continua spesso non consente un vespaio ventilato e il piano inferiore dell'edificio poggia direttamente a terra. A causa di queste caratteristiche costruttive, il radon presente tra il pavimento e il vespaio entra nell'edificio attraverso tutti i giunti e le fessure del pavimento e dei sistemi di tubazione, a causa della differenza di pressione tra l'interno e l'esterno.

Per esempio, Ippolito e Remetti (2019) pubblicarono un interessante studio sul monitoraggio del radon in un edificio del Comune di Marino (Roma, Lazio), per ricostruire i percorsi d'ingresso del radon, in relazione ai parametri ambientali, alla forma del palazzo e alla tipologia di fondazione e poter quindi predisporre un progetto di mitigazione idoneo. L'approccio si attaglia molto bene anche ad eventuali studi ed interventi nel Comune di Cave.

La forma dell'edificio studiato da Ippolito e Remetti (2019) segue la morfologia del terreno, con notevoli dislivelli. Il fabbricato è costruito su materiale lavico ed ha una struttura portante in muratura di tufo vulcanico. La tipologia delle fondazioni è mista a causa di un vecchio cedimento strutturale, a plinto sul lato della camera da letto e continua sul lato del soggiorno.

Il monitoraggio preliminare delle concentrazioni di radon indoor nei due ambienti è stato realizzato durante il periodo invernale e quello estivo del 2018 e del 2019. Nelle stanze sottoposte a test, furono posizionati 3 sensori a diversa altezza per individuare eventuali variazioni di concentrazione media nei periodi di osservazione. Differenze fino al 35 % furono rilevate nello stesso ambiente, in relazione alla presenza dei mobili oppure alla scarsa ventilazione del locale. In generale, l'insieme dei dati evidenziò un superamento delle concentrazioni limite nei due ambienti in tutti i periodi di osservazione, dimostrando la necessità di un intervento di mitigazione del rischio e fornendo, al contempo, indicazioni utili sul tipo di azioni da intraprendere. Infine, fu rilevata la necessità di una collaborazione tra vari specialisti (geologi, architetti, ingegneri) per una trattazione completa e una soluzione ottimale del problema.

In generale quindi un intervento di mitigazione andrebbe svolto dopo uno studio conoscitivo dei livelli di radon indoor, specialmente in quelle aree classificate ad alto rischio. Sulla base di quanto riportato in Tabella 4 (Par. 3.6.1), gli interventi di mitigazione dovrebbero prevedere misure di protezione dell'edificio. Le procedure più diffuse sono la depressurizzazione o ventilazione del vespaio, l'impiego di membrane impermeabili al gas radon e la rimozione di coperture esterne, ma questi aspetti vanno oltre lo scopo di questo lavoro e si rimanda a pubblicazioni più specifiche.

6.8. Mitigazione del rischio isola di calore

Lucia Martincigh, Marina Di Guida

Già da una decina di anni, a livello europeo, più recentemente a livello nazionale, la presa di coscienza della sempre maggiore frequenza di eventi climatici estremi e delle loro conseguenze calamitose ha fatto emergere la necessità di una concreta politica climatica, che si fondi su due "pilastri" principali: da un lato l'intensificazione degli sforzi diretti a ridurre le emissioni di gas a effetto serra, dall'altro la previsione concreta di misure di adattamento dirette a ridurre e gestire i rischi connessi ai cambiamenti climatici, che si basa su un

approccio locale e un forte coinvolgimento degli attori socio-economici⁸. Questa ottica locale, già applicata nel lavoro di ricerca per la previsione dell'effettuarsi di ondate di calore e di isole di calore, e per le mappe del rischio in generale, va applicata anche nella scelta delle possibili misure di adattamento e mitigazione, seguendo un approccio esigenziale prestazionale, come già descritto nella metodologia generale (cfr. Par. 3.8), che sia finalizzato al miglioramento della qualità della vita dei cittadini. Le varie soluzioni emerse, adottabili, alternative ed equivalenti vanno valutate per individuare quelle più appropriate anche alla configurazione/costruzione dello spazio urbano, individuando le rispettive reciproche relazioni e ricadute. La miglior strategia è progettare le varie misure come un sistema, per un'intera zona, in quanto la loro combinazione, consentendone la valorizzazione attraverso un'articolazione finalizzata al reciproco potenziamento degli effetti, produce ambienti urbani confortevoli e fruibili.

Nella pianificazione della prevenzione, adattamento e mitigazione dei rischi e nei connessi processi decisionali, nonostante il continuo ampliamento delle conoscenze e l'affinamento dei modelli per le proiezioni climatiche e la stima degli impatti dei cambiamenti climatici, sarà sempre presente una dimensione di incertezza, dovuta non solo alla conoscenza imperfetta e alla variabilità intrinseca dei rischi analizzati, ma anche, in particolare, all'impossibilità di conoscere, a breve termine, gli effetti delle decisioni prese; nella valutazione delle scelte, quindi, si può parlare solo di "ottimo relativo"⁹.

Per prevenire e mitigare le ondate di calore e le isole di calore nei centri urbani, è necessario intervenire adottando strategie e soluzioni sia soft che hard¹⁰ e facendo riferimento anche al Piano Nazionale di Prevenzione degli effetti del caldo sulla salute¹¹.

Per quanto riguarda le strategie e soluzioni soft, che sono rivolte sia a costruire una capacità di adattamento sia a dotarsi di strumenti atti a far fronte ai cambiamenti climatici, si fa cenno alla possibilità di progettare e attuare un piano locale di prevenzione dei rischi legati alle ondate di calore, che può essere revisionato ogni anno e sostenuto attraverso attività di aggiornamento e formazione dei tecnici comunali e dei volontari sulle tematiche di clima, energia e ambiente.

Nel piano possono essere comprese due tipologie di misure di adattamento: da un lato, un sistema di allerta, che comunica quando i livelli di temperatura e umidità superano le soglie prefissate, dall'altro, un insieme di azioni per assistere i gruppi di persone più esposti ai rischi previsti; entrambe possono essere attivate in coordinamento con la regione competente e gli organismi dedicati, per esempio l'ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente).

Il sistema di allerta rapido in caso di emergenza, basato sul *Thom's Discomfort Index (DI)* che, come già precisato (cfr. Par. 3.8.2.1), misura la reazione del corpo umano alla combinazione temperatura - umidità, può essere collegato a un sistema di monitoraggio comunale, realizzato attraverso una rete di strumenti, dispositivi e sensori che rileva i dati ambientali nell'area urbana in oggetto, o, in assenza di questa, e comunque come attività di controllo, può fare riferimento ai bollettini provinciali pubblicati dall'ARPA (come nel caso dell'Emilia Romagna), se esistenti, o, infine, ai bollettini giornalieri pubblicati, da maggio a settembre, dal Ministero della Salute¹².

Le azioni di assistenza, coordinate con il sistema di allerta, possono comprendere due attività principali: l'assistenza domiciliare e l'informazione, che possono essere organizzate grazie alla cooperazione tra le amministrazioni comunali, le Aziende Sanitarie Locali (ASL) e le associazioni di volontariato.

Per l'assistenza domiciliare, è importante creare una rete di coordinamento locale tra i diversi attori; mappare i

⁸ L'Unione Europea, nell'aprile 2013, ha adottato la "Strategia europea per i cambiamenti climatici" e quindi, nel giugno 2013, *Una Strategia europea di Adattamento al Cambiamento Climatico* (Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - An EU Strategy on adaptation to climate change). Tale strategia ha richiesto a tutti gli Stati Membri di rivalutare il concetto di vulnerabilità, di rivedere le soglie critiche di rischio a livello nazionale e di misurare le proprie capacità di resilienza agli effetti dei cambiamenti climatici.

⁹ Il concetto di "ottimo relativo" è stato trattato dal prof. Giorgio Boaga, uno dei fondatori del settore della Tecnologia dell'Architettura, nei suoi scritti e ricerche sin dagli anni '70 del secolo scorso.

¹⁰ Una raccolta di possibili misure si trova nel "Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. Draft" redatto dalla U.S. Environmental Protection Agency (2012). <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.

¹¹ Ministero della Salute: Piano Nazionale - Centro Nazionale Prevenzione e controllo malattie, "Piano Nazionale di Prevenzione degli effetti del caldo sulla salute. Linee di indirizzo per la prevenzione. Ondate di calore e inquinamento atmosferico" (2019). https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_2867_allegato.pdf.

¹² I bollettini giornalieri sono elaborati per 27 città con previsioni e con il livello di rischio per la salute previsto a 72 ore (cfr. Par. 3.8.2).

gruppi più a rischio, quali anziani, malati cronici che vivono soli, bambini e persone disabili; rafforzare i servizi domiciliari già esistenti nel periodo estivo.

Per l'informazione è importante fornire specifiche notizie in merito: alle aree pubbliche di rifugio, in cui i cittadini possono rifugiarsi nelle ore più calde della giornata; agli effetti, diretti e indiretti, sia fisici che psicologici, che le ondate di calore possono avere sulla salute delle persone, e in particolare sui gruppi più a rischio; ai suggerimenti pratici per prevenire i colpi di calore e di sole e su cosa fare nei casi di emergenza.

Tutte queste informazioni, che risultano molto utili per preparare la popolazione all'eventualità che avvengano eventi climatici estremi e per limitare il discomfort, possono essere fornite o tramite siti web specifici o con campagne di sensibilizzazione e materiale informativo¹³.

Per quanto riguarda le strategie e soluzioni hard, è importante adottare strategie flessibili, che possano essere ritoccate sulla base dell'esperienza e della ricerca, e, come già indicato nella premessa (cfr Par. 6.1), è necessario scendere di scala fino al livello di quartiere, per tenere in considerazione le caratteristiche specifiche proprie di ogni centro urbano, e privilegiare interventi di adattamento *no regret*, ovvero interventi atti sia a ridurre gli impatti (*long term*) sia a migliorare la qualità della vita (*short term*). In particolare è importante adottare un mix di soluzioni "verdi" e "grigie", privilegiando le prime e focalizzando l'attenzione sull'utilizzo di soluzioni naturali o basate su processi naturali (*Nature-based solutions* - NBS), sempre più sostenute dalle istituzioni europee¹⁴, come le infrastrutture verdi (*Green Infrastructures* - GI), in quanto si tratta di misure flessibili, efficaci ed efficienti sia per ridurre il rischio connesso a tali fenomeni sia per migliorare l'adattamento al cambiamento climatico e la resilienza della società.

La preferenza data alla scelta di soluzioni basate sui sistemi naturali (NBS e GI) è motivata dal fatto che essi, oltre ad avere un effetto diretto sul comfort termico outdoor delle persone che fruiscono degli spazi urbani, hanno anche ricadute positive, indirette, fornendo benefici accessori a favore dell'uomo, i cosiddetti servizi ecosistemici¹⁵, quali per esempio: la regolazione dell'inquinamento atmosferico e delle acque, dell'impollinazione, dell'habitat per la biodiversità; un apporto per il miglioramento dei valori estetici, ricreativi, educativi, identitari etc.

Sebbene vi siano numerose ricerche che indicano i potenziali benefici dell'uso delle NBS, la dimostrazione del loro valore pratico per la DRR (Disaster Risk Reduction) e il loro ruolo nella pianificazione dell'adattamento e nello sviluppo sostenibile sono in ritardo: l'utilizzo delle soluzioni "grigie" ha infatti spesso prevalso su quello delle soluzioni "verdi"; ciò è principalmente dovuto, da un lato, alla consuetudine che fa percepire l'infrastruttura grigia come più efficace, efficiente e più facile da implementare, dall'altro, alla carenza di effettive applicazioni, esperienze e monitoraggio che mostrino i benefici diretti e indiretti delle NBS.

Per promuovere l'utilizzo di tali misure, le amministrazioni comunali, possono avvalersi di alcuni strumenti già previsti dalla normativa, finalizzandoli a raggiungere gli scopi prefissati: i "Regolamenti comunali del verde pubblico e privato" e i "Piani del verde"¹⁶.

A sostegno dell'approccio descritto si riportano alcune strategie e azioni che integrano le NBS e GI in un approccio ecosistemico:

- realizzare, anche a fini dimostrativi e di sensibilizzazione dei cittadini, interventi sperimentali di adattamento di spazi pubblici nelle zone particolarmente vulnerabili, incrementando le dotazioni di verde, la presenza di acqua, la permeabilità dei suoli, per creare "aree di rifugio nelle ore più calde", che possono diventare, migliorando anche la qualità del contesto, "salotti urbani", veri e propri luoghi di socialità, dove i cittadini possono sostare in modo confortevole in estate;
- incrementare la dotazione del verde urbano pubblico, adottando la logica del verde funzionale, che offre diverse prestazioni ambientali: mitigazione microclimatica, miglioramento del comfort e della salute, e creando:

¹³ Per questi aspetti, si possono menzionare due casi interessanti in Italia; uno riguarda uno studio pilota effettuato in un quartiere di Modena, descritto da Zauli Sajani *et al.* (2016); l'altro riguarda le strategie, dirette e trasversali, previste dal Comune di Urbino per fronteggiare lo stress termico estivo, descritte in: Alessandrini, Carosi (2019).

¹⁴ Un punto di riferimento sono la "European Commission Communication Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital" (EC, 2013) e la "European Environment Agency's Climate change, impacts and vulnerability in Europe" (EEA, 2012).

¹⁵ Secondo la definizione proposta dal MEA, i servizi ecosistemici sono i "molteplici benefici forniti dagli ecosistemi al genere umano" (Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC).

¹⁶ Legge n.10/2013 "Norme per lo sviluppo degli spazi verdi urbani" che all'art.6, in particolare, menziona le misure da adottare per ridurre l'effetto "isola di calore estiva".

- corridoi verdi come le *green and blue infrastructure*, che incentivano la mobilità sostenibile e salvaguardano la biodiversità in ambito urbano;
- nicchie ambientali come i *pocket garden*, che migliorano la qualità urbana, la vivibilità e la socialità;
- utilizzare dispositivi e sistemi di mitigazione microclimatica.

In particolare:

- aumentare l'uso della vegetazione (alberi caducifoglie, arbusti, siepi, pergole, graticci, superfici erbose etc.) nella progettazione degli spazi pubblici: piazze, percorsi e aree di attesa alle fermate dei mezzi di trasporto, per mitigare il surriscaldamento delle superfici di calpestio e i picchi di temperatura attraverso l'ombreggiamento, che controlla l'irraggiamento solare diretto, e l'evapotraspirazione, al fine di migliorare il microclima urbano;
- aumentare l'uso di fontane e specchi d'acqua, con zampilli o ugelli per getti nebulizzati/micronizzati, di canali, che, soprattutto se in movimento, possono ridurre la temperatura grazie all'evaporazione e alla migliore circolazione d'aria, ancor più se circondati di aree verdi;

queste due strategie hanno anche effetti indiretti, quali l'attenuazione o il mascheramento del disturbo dovuto al rumore urbano, il miglioramento della qualità dell'aria (riducendo le concentrazioni di CO₂ e filtrando le sostanze gassose e pulviscolari) e la costituzione di aree di rifugio per la popolazione;

- aumentare i viali alberati con alberature di prima grandezza che, oltre a ridurre il surriscaldamento delle superfici stradali, la temperatura dell'aria e l'inquinamento atmosferico offrono un habitat adatto a molte specie animali, costituiscono corridoi ecologici e favoriscono la tenuta idrogeologica della carreggiata, o con alberature di seconda grandezza, dove lo spazio non lo consente. Le specie più usate, secondo le zone, sono platani, ippocastani, olmi, tigli, aceri, querce, faggi, cipressi, carpini, noci, gelsi e alcuni alberi da frutto, dove lo spazio è molto ridotto. Grande importanza ha la superficie drenante che va lasciata alla pianta ad alto fusto (min 3 mq), meglio ancora se continua, erbosa o con pacciamatura, che serve anche per la bioritenzione e il recupero dell'acqua piovana;
- utilizzare la vegetazione per favorire la microventilazione e posizionare gli schermi verdi per direzionare la ventilazione al fine di sfruttarne l'effetto di raffrescamento;
- inserire sistemi di ombreggiamento, naturali o artificiali, delle superfici di calpestio;
- trasformare i parcheggi esistenti in parcheggi "verdi", grazie all'ombreggiamento, con elementi naturali o artificiali, e all'uso di pavimentazioni in ghiaia/pietrisco, inerbate, drenanti o con massetti autobloccanti, che, oltre a ridurre la temperatura al suolo, riducono il ruscellamento e l'aquaplaning, consentono la bioritenzione e quindi il recupero e reimpiego dell'acqua meteorica;
- utilizzare canalette verdi (*wet swale*), in luogo di canalette impermeabili, e giardini della pioggia (*rain garden*), in luogo di superfici sigillate, per drenare e recuperare l'acqua piovana proveniente da tetti, strade e sentieri, al fine di contribuire all'irrigazione del verde supplementare e ridurre i rischi legati all'impermeabilizzazione del suolo, gestendo in situ le forti precipitazioni;
- utilizzare pavimentazioni fredde per gli spazi urbani pubblici o di pertinenza dei servizi pubblici, quali corti e cortili scolastici, e incoraggiarle per quelli private, costituiti da:
 - superfici materiche porose, permeabili e con buona capacità di ritenzione idrica, che favoriscono il raffrescamento per evaporazione dell'acqua filtrata verso il terreno quando si scaldano;
 - materiali con colorazione chiara, cioè caratterizzati da elevati valori di albedo capaci di riflettere efficacemente la radiazione solare;

molta ricerca, teorica e sperimentale, è stata fatta su materiali e tecniche costruttive, quindi per le pavimentazioni fredde sono disponibili soluzioni innovative;

- favorire ed incentivare l'uso di colorazioni chiare per le coperture (tetti freddi) e le facciate nella realizzazione di nuovi edifici o nelle attività di manutenzione ordinaria, straordinaria e ristrutturazione;
- favorire ed incentivare l'incremento del verde negli spazi privati, quali cortili, corti, terrazzi e piccoli spazi lastricati;
- favorire ed incentivare la diffusione delle coperture a verde e dei sistemi di rinverdimento verticali, come le facciate verdi, le pareti verdi tecniche e i parchi posti in verticale, che, essendo superfici fredde (che non irradiano calore e non incrementano la temperatura dell'ambiente esterno), oltre a ridurre l'isola di calore, grazie al fenomeno chiave dell'evapotraspirazione, riducono anche il fabbisogno energetico degli edifici nonché l'inquinamento atmosferico; nel primo caso inoltre riequilibrano il ciclo dell'acqua meteorica, permettono l'autoproduzione orticola, e infine creano spazi ulteriori e forniscono benefici psicologici per gli abitanti;
- favorire la diffusione degli orti urbani, intesi, oltre che a fini educativi, anche come forme mirate di riqualificazione di aree verdi sottoutilizzate e come contributo alla autonomia alimentare degli insediamenti urbani;
- realizzare o mantenere corridoi e cinture verdi periurbane.

Nella scelta delle misure è necessario considerare la conformazione del tessuto urbano e, in particolare, la struttura tridimensionale dello spazio, che condiziona la perdita radiativa, proporzionale all'esposizione delle superfici riscaldate verso un limpido cielo notturno (*sky view factor*); quando si interviene in città consolidate, pur non potendo intervenire su questo fattore, bisogna tenerne conto. Per esempio, sia aumentare la riflettività e la levigatezza delle superfici sia creare ombreggiamento con la vegetazione riducono l'ammontare di calore immagazzinato durante il giorno, ma la prima soluzione può causare problemi legati all'abbagliamento, alla scivolosità nella percorrenza (a meno di additivi specifici) e persino all'aumento della temperatura dell'aria (in alcuni canyon urbani), mentre la seconda, creando una chioma più o meno compatta verso il cielo, può limitare la perdita radiativa e quindi contribuire all'isola di calore notturna, ma ridurre i fenomeni di abbagliamento diurni. In ambito urbano, l'aumento della vegetazione, nelle sue varie declinazioni, sembra essere la miglior strategia, considerando anche che l'ombreggiamento diurno crea un ambiente molto più confortevole per coloro che frequentano gli spazi urbani, soprattutto se vengono creati molti piccoli spazi verdi alberati, che svolgono un'azione di raffrescamento più efficiente e costante; le misure verdi possono essere combinate con altre strategie di mitigazione, basate sui processi di evapotraspirazione, sull'aumento dell'albedo dei materiali, su altre tecniche di ombreggiamento etc. che possono svolgere un ruolo più o meno rilevante. È evidente che, volta per volta, va considerato il bilancio complessivo degli effetti e dei benefici, scegliendo le soluzioni più appropriate, secondo le cause specifiche che danno luogo all'isola di calore e le caratteristiche urbane locali, e considerando le connessioni e le sinergie che si creano tra di esse.

Le infrastrutture verdi e blu, considerate soluzioni che risultano accettabili per tutti (definite in inglese come *win-win*) se ben progettate, realizzate e mantenute, sono non solo misure efficaci ma anche economiche, qualità questa non secondaria, visto che la verifica della fattibilità economica, della realizzabilità tecnica e del rapporto costi - benefici sono parametri fondamentali di valutazione per la selezione tra le diverse soluzioni alternative.

In conclusione, le potenziali strategie di mitigazione, con le loro limitazioni, si basano sull'uso di vegetazione e ombreggiamento, tetti verdi e corpi d'acqua, pavimentazioni permeabili, materiali con alta albedo e, ovviamente, su una appropriata progettazione urbana nel caso dello sviluppo di nuove aree, in particolare per quanto concerne la disposizione degli edifici e la geometria delle sezioni stradali in relazione all'orientamento e alla direzione dei venti.

Va precisato che qualunque strategia per essere efficace deve prevedere il monitoraggio continuo delle misure applicate e la loro valutazione, tecnica, sociale, ambientale ed economica, in itinere e in fase successiva alla realizzazione, da parte dei diversi attori-chiave; la fase di attuazione degli interventi diviene così un processo di apprendimento che ha il fine di migliorare le prestazioni offerte, nell'ottica di una gestione adattiva.

Per il successo della realizzazione delle soluzioni soft e hard sopra accennate, è poi determinante promuovere la cultura della prevenzione nella collettività attraverso una partecipazione attiva; tema che viene trattato nel paragrafo che si occupa del coinvolgimento delle comunità locali (cfr. Par. 6.9).

Per quanto specificato sopra, sembra opportuno proporre l'integrazione di azioni basate su un approccio ecosistemico, che integri le NBS e le GI per la DRR, non solo ai fini di mitigazione dei fenomeni di calore estivo, ma anche in altri settori di azione legati a singoli rischi o trasversalmente a diversi settori d'azione.

6.9. Risk management: dalla valutazione alla comunicazione. Azioni di mitigazione attraverso il coinvolgimento delle comunità locali

Anna Aluffi Pentini

Quando si parla di rischi si fa riferimento a tutta una serie di eventi che potrebbero avere effetti negativi sulla salute, da non intendere più - in accordo con l'OMS - semplicemente come assenza di malattia ma come "stato di completo benessere fisico, mentale e sociale". Appare chiaro, dunque, quanto sia ostico comunicare la presenza di questi fenomeni, a maggior ragione in un periodo di sconvolgimento radicale, quale quello determinato dall'avvento della pandemia da Covid-19, col vizioso rischio di generare ancora più allarmismo. Le modalità di presentazione del rischio stesso giocano un ruolo fondamentale affinché alle varie valutazioni effettuate seguano piani d'azione mirati che richiedono il contributo attivo delle autorità competenti, senza dar adito a fraintendimenti o pregiudizi da parte dei cittadini, a cui pure è richiesta una partecipazione consapevole, senza trascurarne il vissuto emotivo¹⁷, evitando da una parte di calmierarlo adottando politiche rassicuranti, dall'altra di estre-

¹⁷ Da qui la distinzione tra il rischio misurabile (*hazard*) e l'aspetto soggettivo, indipendente dalla probabilità che il rischio si verifichi. Secondo Sandman (2013) tra gli elementi che concorrono a diminuire il senso di ingiustizia percepito in relazione al rischio: la natura volontaria, il livello di conoscenza, il grado di controllabilità, l'affidabilità delle

mizzarlo alimentando la percezione di catastrofismo. Comunicazioni chiare, trasparenti ed esaustive, fondate su evidenze scientifiche e che restituiscano una visione d'insieme, generano misure di tutela efficaci e risolutive: per questo è fondamentale fornire informazioni puntuali, coerenti e contestuali – comprensibili anche ai “non addetti ai lavori” – fin dalle prime fasi delle indagini conoscitive, private della variabile incertezza che influisce sulla qualità dei processi decisionali e basate su dati scientifici quantitativi pur tuttavia comprensive dei fattori di probabilità e potenziali¹⁸. L'obiettivo rimane quello di coinvolgere l'intera popolazione esposta al rischio nell'elaborazione e attivazione di interventi sostenibili e buone pratiche, anche e soprattutto in termini preventivi. Formulare raccomandazioni da adottare in caso di rischio può incrementare significativamente il livello di partecipazione dei cittadini. È importante, tuttavia, che tale azione sia seguita da un processo di monitoraggio volto a verificare il raggiungimento degli obiettivi. Una valutazione complessiva dell'impatto del rischio sulla salute deve potersi servire di checklist strutturate che oltre a descrivere l'impatto sui fattori biologici, sociali, economici così come sui comportamenti e gli stili di vita includano anche le azioni di mitigazione. Dunque, monitorare gli effetti dei processi decisionali è parte integrante di una VRA (Vulnerability risk assessment) che abbia come scopo quello di minimizzare l'indice di rischio attraverso un'analisi quantitativa del suo carattere bidimensionale.

Mastellone (2008) ricorda che il processo complessivo di analisi del rischio – inteso, in accordo con la Comunità Europea, come parametro funzione della probabilità di accadimento di un determinato evento in base al pericolo considerato – passa attraverso le fasi di: hazard identification – che comprende tanto l'individuazione delle fonti di rischio quanto la vulnerabilità degli elementi esposti; risk assessment – orientato a determinare natura e portata dei rischi; e risk evaluation, dalla cui accuratezza dipenderà la definizione sia di azioni preventive di riduzione della pericolosità sia di azioni preventive di mitigazione pre e/o post evento. Generalmente tra i rischi inclusi nel risk assessment troviamo: i disastri naturali, i rischi tecnologici e quelli legati al trasporto, la salute pubblica e i rischi sociali.

6.9.1. Risk management e infanzia

Se molto è stato fatto per la popolazione adulta in tema di risk management, esigui sono gli approcci allo sviluppo quando si tratta di bambini, generalmente ritenuti ricettori passivi delle politiche di riduzione dei rischi ambientali piuttosto che promotori di cambiamenti sociali positivi. La maggior parte della letteratura sul ruolo dei bambini nei disastri è infatti dedicata agli impatti psicosociali che subiscono (Norris *et al.* 2002; Ursano, Norwood 2003) e non alla loro capacità di azione. Vale la pena, perciò, riportare il caso di El Salvador e delle Filippine¹⁹: l'approccio adottato è incentrato sui bisogni dei bambini e si fonda sul loro diritto a essere ascoltati all'interno degli spazi politici locali e nazionali; ne esalta il ruolo potenziale come comunicatori e facilitatori della riduzione del rischio di catastrofi. Tale ricerca, che ha visto i bambini coinvolti in attività di mappatura e mitigazione dei rischi per la comunità, ha dimostrato che i bambini partecipano in maniera attiva e responsabile, facendosi carico delle decisioni che li riguardano. Includendoli nei processi di valutazione, infatti, i giovani possono definire quelli che percepiscono come problemi invece che accettare questioni mediate dalle autorità²⁰. Tale processo di costruzione del consenso condiviso si è fondato sulla partecipazione dei bambini ai processi decisionali attraverso la loro presenza alle riunioni delle autorità locali e del consiglio che li vedeva spesso traduttori di informazioni tra gli agenti esterni e le loro famiglie in vista di maggiori competenze linguistiche e tecnologiche. La ricerca è stata condotta attraverso sessioni di focus group ed esercizi di visioning con gruppi di bambini e giovani, i loro genitori e i responsabili politici locali. Sono state utilizzate interviste approfondite con politici e decisori a livello nazionale e regionale, caratterizzate da una serie di domande guida concernenti le cause dei disastri, gli eventi del passato e le loro conseguenze, e l'attuale risposta e coordinamento. Tra gli strumenti utilizzati per dar voce ai bambini anche le produzioni teatrali: il teatro, infatti, è stato citato dai bambini e dai giovani come un mezzo molto popolare per condividere con la comunità più ampia le preoccupazioni e i

fonti, la capacità di reagire ecc. Ne consegue che la vera sfida risiede nel ridurre il più possibile la distanza che separa il rischio effettivo da quello comunicato e quindi percepito

¹⁸ L'oggettività delle stime, infatti, deve saper includere una certa dose di flessibilità e la possibilità di modificare il protocollo di studio anche in corso d'opera, una volta riconosciuto il ruolo dell'ambiguità nei processi di gestione del rischio.

¹⁹ Si tratta di zone esposte a significativi rischi geologici tra cui uragani/tifoni, terremoti, frane e inondazioni.

²⁰ “Each young person who is involved will gain knowledge and a sense of being connected to something, while the community will benefit from having a successful project” (Roshani 1997).

temi sui quali sensibilizzare la popolazione²¹.

Dalla ricerca è inoltre emerso che generalmente gli adulti tendono a dare più importanza ai pericoli quotidiani, sui quali sentono di avere un certo grado di controllo, mentre i bambini pongono maggiore enfasi su eventi meno controllabili, a bassa probabilità e con conseguenze gravi. Ciò fornisce un indizio del fatto che un approccio incentrato sui bambini – tenuto conto del ruolo dei genitori e dei leader della comunità – in materia di risk management può essere sostenuto dall’innata propensione dei bambini a inquadrare rischi e pericoli. Per tutto il processo i bambini sono stati incoraggiati a comunicare in famiglia sui probabili rischi e a introdurre cambiamenti in casa per ridurre i rischi identificati. Un’altra osservazione emersa è che i bambini rappresentano voci efficaci all’interno delle campagne di advocacy, in particolare quando fanno leva sui media.

Per citare un esempio concreto del programma di riduzione dei rischi, il comitato di emergenza dei bambini ha intrapreso regolari campagne di pulizia in Petapa, zona caratterizzata da un abbandono regolare di rifiuti, coordinate con il comitato di emergenza degli adulti. Inoltre, un programma di educazione ambientale a Petapa ha mirato alla sensibilizzazione dei rischi creati dall’abbattimento degli alberi e dall’estrazione di sabbia e rocce dal fiume Sumpul. All’interno del Comitato di Emergenza Scolastica, i bambini hanno identificato i rischi interni alla scuola, tra cui potenziali danni alle aule a causa di terremoti e la presenza di ripidi pendii vicino ai passaggi pedonali.

In definitiva i risultati della ricerca esemplificano il ruolo attivo dei bambini come cittadini responsabili preoccupati del benessere della loro comunità, e suggeriscono che c’è una notevole possibilità per i giovani di agire come agenti di cambiamento. Il lavoro di ricerca stesso ha permesso ai bambini di riflettere sulle loro capacità, così come di considerare i loro canali di comunicazione e livelli di influenza sia in via formale che informale²².

6.9.2. Educazione al rischio. Buone pratiche nelle scuole

La FEMA²³ è attiva anche e soprattutto nel contesto scolastico. Numerose le iniziative proposte per sensibilizzare al tema fin dalla prima educazione: i coloring books sono un esempio concreto ed efficace del tentativo di coinvolgere gli studenti di scuola primaria, guidati dai loro insegnanti, in attività finalizzate alla co-costruzione di una comunità sostenibile e protetta.

Si pone il medesimo obiettivo di riduzione del rischio – seppur pensata per destinatari più maturi – la guida degli studenti “Stay safe and be prepared” progettata dall’UNESCO sotto forma di fumetto che racconta la storia di “Resilience Girl”²⁴. La guida fornisce suggerimenti pratici per migliorare la risposta ai disastri, una tabella di valutazione per misurare i progressi e un glossario contenente i concetti base, e si fonda sulla convinzione che una preparazione completa ai disastri e la costruzione della resilienza hanno più successo quando l’intera comunità scolastica è coinvolta e quando il processo incoraggia attivamente gli studenti a prendere l’iniziativa. Un Kit di strumenti per la riduzione del rischio di catastrofi altrettanto di successo e ugualmente focalizzato sul concetto di resilienza è quello ideato da Eco-Schools Indian Ocean: un programma olistico e partecipativo – con funzione preventiva²⁵ – di educazione allo sviluppo sostenibile adatt(at)o a tutte le scuole dell’Oceano Indiano. Il toolkit fornisce una guida pratica agli insegnanti e ai membri della comunità su come condurre una valutazione della vulnerabilità e delle capacità incentrata sui bambini. La creazione di strumenti pedagogici ispirati al contesto locale e alle tradizioni delle comunità risulta essenziale per stimolare una piena partecipazione da parte degli studenti: a ciascuno di essi viene infatti fornito un opuscolo composto da un elemento di conoscenza

²¹ Gli stessi copioni sono scritti dai bambini coadiuvati da leader giovanili. Anche il ricavato degli spettacoli è interamente gestito dai bambini per ulteriori produzioni volte a sensibilizzare al tema del rischio o per essere investiti in bisogni più ampi come le uniformi scolastiche.

²² I percorsi informali comprendevano il dialogo con i membri della famiglia, gli insegnanti e gli amici. I percorsi formali includevano il collegamento con il Comitato di Emergenza Scolastica e l’Associazione Genitori, Insegnanti e Comunità, con il Comitato di Emergenza della Comunità e con i leader locali di vari enti.

²³ U.S. Federal Emergency Management.

²⁴ RG è stata colpita da uno tsunami che le ha fatto perdere una gamba. Le sue esperienze l’hanno incoraggiata a imparare il più possibile sul rischio di catastrofi, sulla preparazione e sulla resilienza. Desiderosa di condividere ciò che ha imparato con i coetanei della sua nuova scuola, RG offre una presentazione dal titolo: “Sii prudente, sii preparato, sii resiliente”.

²⁵ L’idea base è che lavorare in anticipo per ridurre la vulnerabilità delle comunità le renda più capaci di affrontare le sfide. I piani di emergenza devono poter tenere conto delle preoccupazioni così come dei bisogni dei soggetti interessati.

specifico del rischio e da una serie di attività di gruppo per verificare l'acquisizione delle conoscenze e delle istruzioni di sicurezza da seguire prima, durante e dopo un disastro. L'intenzione di fornire agli studenti gli strumenti per analizzare e monitorare i vari rischi e per mettere in atto misure migliorative – condividendo le proprie prospettive sui pericoli esistenti nella comunità e pianificando attività di riduzione dei rischi da avviare in prima persona – è finalizzata a portare questo apprendimento al di fuori della scuola per proteggere meglio se stessi e le proprie comunità.

Anche l'Agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente ha realizzato una brochure contenente le misure più efficaci per proteggere la salute di studenti e personale scolastico dalle tipologie di rischio più comuni nelle scuole (esposizione al radon, radiazioni UV, amianto, qualità dell'aria interna ecc.). Fornisce anche programmi e risorse per prevenire, ridurre e risolvere ciascuno dei rischi ambientali evidenziati²⁶, e un rapido assessment finale (del tutto volontario) così da individuare le aree tematiche che richiedono un'attenzione più dettagliata.

Ma quali sono, in linea generale, i rischi che minacciano maggiormente la salute dei bambini? Forniscono un quadro dettagliato le stime dell'UNEP (United Nations Environment Programme), del WHO (World Health Organization) e dell'UNICEF, dalla cui analisi emerge la necessità di sforzi per misurare i rischi per la salute ambientale dei bambini e sviluppare politiche e programmi per mitigare tali esposizioni. Inquinamento dell'aria interna, inquinamento atmosferico, servizi igienici non adeguati e acqua contaminata, vettori di malattie infettive, esposizione al piombo²⁷, uso di pesticidi costituiscono i maggiori rischi ambientali per la salute dei bambini, e richiedono azioni concrete come: incoraggiare lo sviluppo e il sostegno di iniziative a livello comunitario²⁸, continuare ad aumentare la consapevolezza e fornire (in)formazione²⁹, incoraggiare la ricerca sui rischi ambientali.

Risulta utile, per concludere, far riferimento alle linee guida stilate dal National Clearinghouse for Educational Facilities per mitigare i pericoli nelle strutture scolastiche. Tra le misure suggerite per creare e implementare un piano di mitigazione: utilizzare strumenti di valutazione della sicurezza delle strutture scolastiche e assemblare un team di specialisti e non (personale scolastico); programmare incontri frequenti tra i soggetti interessati; calcolare i costi e identificare le possibili fonti di finanziamento; ispezionare e rivalutare su base periodica l'ambiente scolastico alla ricerca di nuove vulnerabilità; tenere conto degli eventi pericolosi del passato, che si sono manifestati con una certa frequenza, e dei loro modelli così da rendere il processo di pianificazione più realistico; documentare i risultati. In definitiva, un piano di crisi – con cui coordinare il processo di mitigazione – per essere efficace dovrebbe avere quattro componenti: mitigazione, preparazione, risposta e recupero³⁰.

²⁶ Tra i suggerimenti menzionati per rendere l'ambiente scolastico più sano: testare il livello di gas radon negli edifici; migliorare la qualità dell'aria interna; vietare l'utilizzo di prodotti chimici esterni non autorizzati; rimuovere le fonti di piombo, mercurio e amianto; testare l'acqua potabile; educare se stessi, vale a dire essere consapevoli delle criticità che affliggono il proprio ambiente e di come fronteggiarle.

²⁷ Anche piccole quantità di piombo possono essere pericolose, soprattutto per lo sviluppo del cervello. Gli studi hanno dimostrato che il quoziente intellettivo cala fino a sei punti per ogni 10 microgrammi di piombo per decilitro di sangue.

²⁸ Per esempio, numerosi studi sul campo hanno indicato che buone pratiche igieniche personali e domestiche possono aiutare a ridurre l'insorgenza di malattie diarroiche, anche quando non c'è accesso all'acqua potabile o a servizi igienici moderni (Bateman, McGahey, 2001).

²⁹ Diverse organizzazioni non governative (ONG), tra cui il Children's Environmental Health Network e l'International Research and Information Network on Children's Health, Environment, and Safety (INCHES), sono state create appositamente per proteggere i bambini dai pericoli ambientali. A livello locale, è necessario impegnarsi per insegnare ai bambini, alle famiglie e alle comunità a identificare le minacce ambientali per i bambini, ad adottare pratiche che riducano i rischi di esposizione, e a lavorare con le autorità locali e il settore privato per sviluppare programmi di prevenzione e intervento.

³⁰ Per altri fondamenti di *classroom management* in fatto di istituzione, mantenimento e sostegno della sicurezza scolastica di base, si raccomanda la visione dello "School safety manual" redatto dall'UNESCO al seguente link: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261350>.

6.9.3. Un percorso possibile

Tenendo conto di quanto detto e degli intenti generali del progetto, e consapevoli della contingenza sfavorevole per via della pandemia, si è proceduto sul piano delle possibilità per il lavoro con le scuole su due livelli:

1. la proposta di un percorso di sensibilizzazione per insegnanti e giovani, sensibilizzazione iniziata a Cave, e base per un percorso di lavoro riproponibile e perfezionabile per il futuro, del quale si dà conto in questo paragrafo;
2. le attività con le scuole delle quale si darà conto nel paragrafo 7.8.3.

Alla luce di quanto è stato fatto, un percorso possibile per il coinvolgimento delle scuole per la messa a punto di un protocollo pilota per la prevenzione e mitigazione dei rischi ambientali e l'attivazione di interventi sostenibili, applicabile ai centri urbani delle Aree Interne del Lazio, potrebbe essere articolato in più fasi.

In una prima fase si presenterebbero delle macro tipologie di rischio

- a. **Indipendente da luogo e stagione, ad esempio il terremoto**
 - i. La popolazione non lo può prevenire ma:
 1. deve essere edotta su come comportarsi;
 2. può fare attenzione, per esempio:
 - documentazione del fabbricato;
 - in lavori di ristrutturazione.
 - ii. L'amministrazione può:
 1. adeguare le strutture;
 2. informare la popolazione su come proteggersi.
- b. **Ibrido: indipendente, ma facilitato da luogo e stagione e azione umana diretta o indiretta, ad esempio l'incendio**
 - i. La popolazione può evitare comportamenti scorretti e assumere comportamenti a difesa dell'ambiente (ad es. buttare sigarette o accendere fuochi o chiamare pronto intervento);
 - ii. l'amministrazione può:
 1. adeguare le strutture.
 2. informare la popolazione su come proteggersi.
 3. verificare il sistema di intervento (viabilità ecc.).
- c. **Dipendente da luogo e stagione, ad esempio le frane, e dipendente da azione umana diretta o indiretta**
 - i. La popolazione può evitare comportamenti scorretti e assumere comportamenti a difesa dell'ambiente (es. buttare sigarette o accendere fuochi o chiamare pronto intervento).
 - ii. L'amministrazione può:
 1. Monitorare il territorio.
 2. Sensibilizzare le ditte di costruzione.
 3. Adeguare la normativa e esercitare controllo.
 4. Sensibilizzare.

Si avvierebbe una riflessione declinata a seconda delle età su questi fenomeni e sulla conoscenza di pericoli specifici nel territorio, oltre che delle risorse disponibili, quali piano di evacuazione, punto di raccolta, buone pratiche. Nel caso di Cave si potrebbe tematizzare il rischio da Radon e le semplici misure per la mitigazione del danno.

In termini di responsabilità personale ad esempio i diversi rischi prevedono un coinvolgimento diverso della popolazione e dei giovani in particolare, così se l'incendio richiede principalmente ATTENZIONE, la pulizia dell'ambiente richiede principalmente IMPEGNO a non buttare i rifiuti per strada o in campagna, mentre l'inquinamento di un fiume richiede principalmente INFORMAZIONE su macro azioni possibili. Si tratterebbe di educare i ragazzi alla complementarietà e alla circolarità dei tre atteggiamenti Attenzione, Impegno e Informazione e quindi conoscenza, stimolando anche alla messa a punto di soluzioni creative per contribuire a livello sociale al rispetto dell'ambiente e alla prevenzione dei rischi ambientali. Per la metodologia di lavoro si potrebbe certamente utilizzare la stessa utilizzata nel lavoro realizzato a Cave (vedere paragrafo 7.8.5) sottolineando maggiormente il focus dell'impegno possibile ai fini della mitigazione del rischio. Pertanto, le domande rivolte ai bambini della primaria si sono concentrate sulle questioni ambientali a Cave e come illustrarle ad un amico che viene da fuori, mentre per la scuola media si è lavorato con le interviste intergenerazionali legate ad una ricognizione dei luoghi e dei fenomeni ad essi collegati, oltre che degli attori e settori coinvolgibili per rendere più sicuro il territorio. La partecipazione dei bambini e dei giovani alla conoscenza e al fronteggiamento delle questioni ambientali è certamente una strada da percorrere per l'attuazione delle direttive europee sull'ambiente e per diffondere la consapevolezza dell'interrelazione tra locale e globale.



Cave (RM).

PARTE IV
IL CASO DI STUDIO

7 Il caso di studio: il Comune di Cave (RM)

7.1. Cave e il contesto territoriale

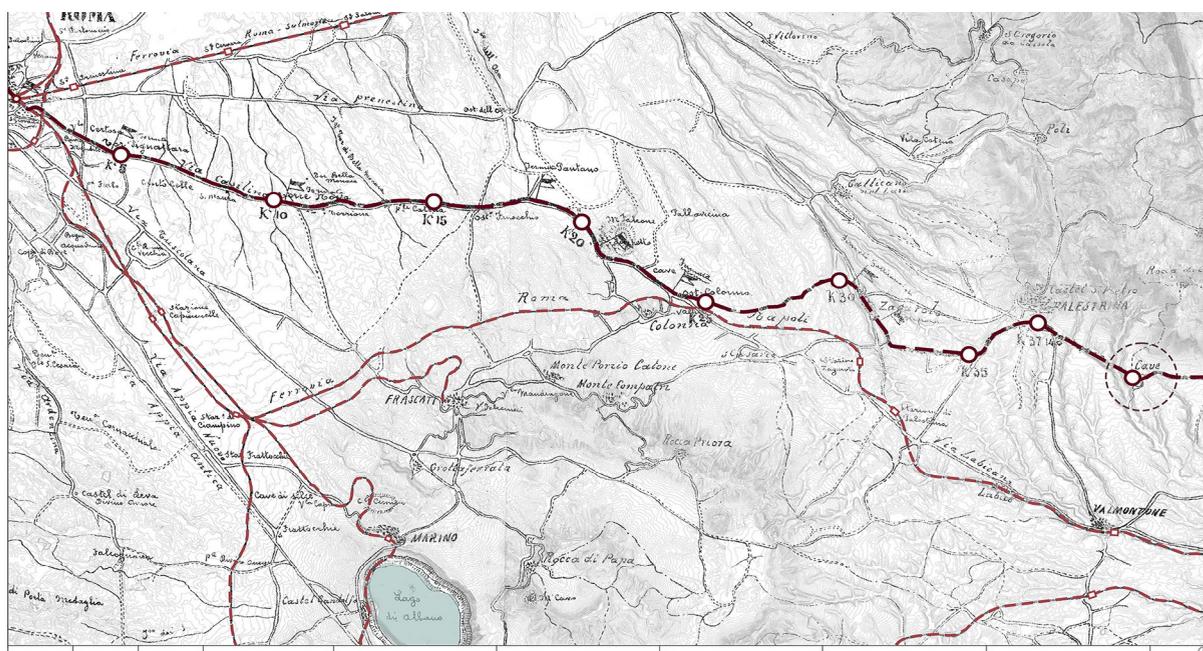
Elisabetta Tortora, Giovanna Spadafora

Il Comune di Cave sorge sulle pendici meridionali dei Monti Prenestini e si estende fino alla Valle del fiume Sacco, area solcata da numerosi fossi, tributari sia del fiume Aniene, a Nord-Ovest, sia del fiume Sacco, a sud est. La popolazione è di circa 11.000 abitanti¹ ed è uno dei centri urbani che orbitano intorno al Comune di Roma. Data la distanza di circa 42 Km dal centro principale di offerta servizi, la città ricade all'interno di un'area che rientra tra quelle descritte come periferiche dall'Agenzia per la Coesione Territoriale.

Il nucleo storico è collocato su uno sperone tufaceo, che si affaccia a ovest sulla sponda del fosso detto di Cave, ed è in prossimità della sorgente naturale nota come Fonte di Santo Stefano, le cui proprietà minerali hanno reso Cave, agli inizi del Novecento, una rinomata meta di villeggiatura, posta lungo il tracciato delle Ferrovie Vicinali che collegavano Roma a Fiuggi (Fig. 1). Ciò è testimoniato anche dalle molte cartoline di quegli anni, che riportano la città come “stazione idroclimatica”, per le proprietà benefiche di quest'acqua, definita “una delle più leggere d'Italia” (Foschi, 2016).

Fig. 1

Inquadramento territoriale del tracciato delle Ferrovie Vicinali, nel tratto da Roma a Cave. La planimetria del progetto della linea ferroviaria (riportata in U. Foschi, Il treno per Cave, Storie delle ferrovie vicinali, Comune di Cave, 2016, pag. 189) viene sovrapposta alla caratterizzazione geomorfologica del territorio, estratta dalla Carte Tecnica Regionale della Provincia di Roma, 2014, per un'analisi del sistema ferroviario della Campagna Romana agli inizi del XX secolo.



¹ I dati sono stati desunti da ISTAT 2022: Popolazione residente nel territorio comunale al giorno 1 gennaio.

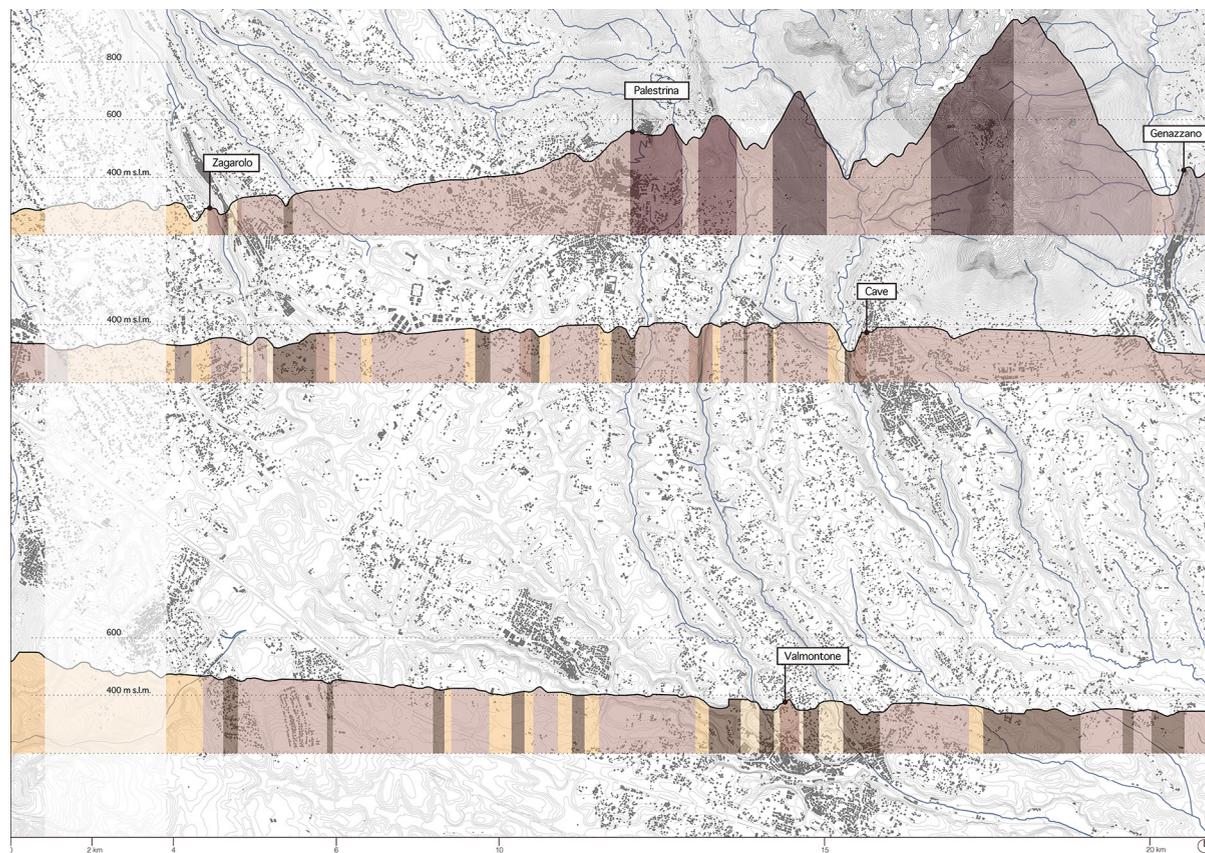


Fig. 2 Elaborazione grafica delle caratteristiche morfologiche e della natura del suolo della Valle del Sacco. Per una loro lettura contestuale, i profili territoriali, sono rappresentati insieme ai dati graficizzati della Carta litologica del Geoportale Regione Lazio, che riporta le unità litologiche, individuate secondo l'omogeneità complessiva dei caratteri fisici: la natura, la composizione, la granulometria e lo stato di fratturazione delle rocce. Per facilità di lettura, tali dati sono stati riportati in profondità.

La dismissione della ferrovia, negli anni Ottanta del Novecento, ha modificato le relazioni tra Roma e i centri posti lungo la linea ferrata². Il territorio comunale è percorso dalla Prenestina nuova, strada regionale SR155, ma il collegamento più rapido e diretto con Roma, ad oggi, è l'autostrada, che arriva a Valmontone, punto nodale da cui si dirama la rete di strade provinciali, a bassa percorrenza che, attraversando un territorio dove si alternano pianori e profondi avvallamenti, raggiungono Cave e i centri limitrofi. Le città di quest'area in parte funzionano in sinergia, come fossero un unico consorzio. Ogni centro ha un ruolo dettato dalla dislocazione dei principali servizi. Valmontone è il nodo principale per la viabilità e il trasporto, Palestrina, invece, è il centro di riferimento per quanto riguarda la sanità³ e l'ampiezza dell'offerta scolastica.

A differenza del versante sud dei Monti Prenestini, dove il suolo è composto da pietre calcaree, marne e calcareniti, gli strati che ricoprono la Valle del Sacco sono costituiti prevalentemente da tufo, tufite, scorie e lapilli, derivati dalle eruzioni dell'antico Vulcano Laziale. Le sezioni territoriali, elaborate in modo da visualizzare in un'unica rappresentazione grafica la morfologia e la litologia, sulle quali sono indicate le posizioni degli insediamenti prossimi a Cave, lungo la via Prenestina nuova, (Fig. 2) risultano essere utili strumenti per approfondire la ricerca della relazione tra la tipologia degli impianti urbani, la natura del suolo e i materiali da costruzione. Questa lettura per sezioni verticali è seguita alla preliminare analisi della cartografia per lo studio del sistema idrografico, della litologia e della rete dei percorsi che, nel tempo, hanno strutturato l'area.

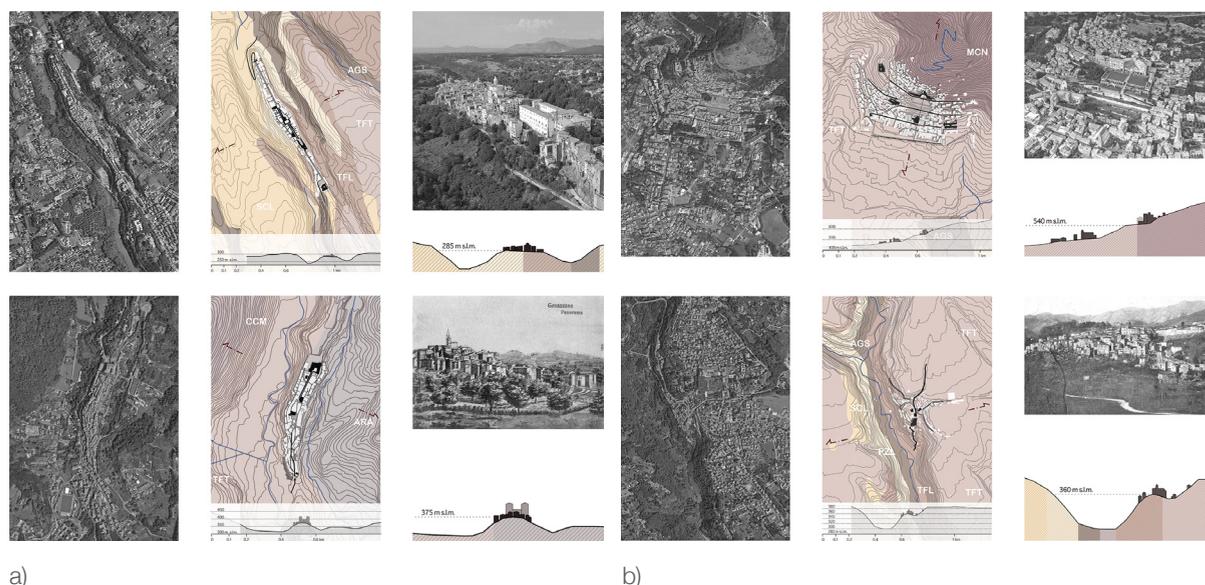
² Verso la fine dell'Ottocento un gran numero di viaggiatori si spostavano dalle zone del Sud-Est laziale verso Roma per occasioni di lavoro e per vendere i prodotti pregiati delle campagne ciociare. Il servizio di trasporto consisteva in una corriera a cavalli da Roma a Palestrina, disponibile tre volte a settimana; da Cave bisognava raggiungere Palestrina, proseguendo con un viaggio molto costoso e lungo circa sei ore. Nel primo decennio del XX secolo iniziarono i lavori per il passaggio delle Ferrovie Vicinali, che offrirono l'opportunità di rinsaldare i legami territoriali attraverso collegamenti diretti e comodi tra la capitale e i centri abitati circostanti (Foschi, 2016).

³ Sul sito del Ministero della Salute è consultabile l'Elenco delle strutture della rete di emergenza ospedaliera, attive al 30 dicembre 2019, da cui risulta che, nell'area presa in esame, Palestrina sia l'unico centro dotato di un Dipartimento di Emergenza e Accettazione di I livello.

Fig. 3

a) Il centro urbano di Zagarolo e, in basso, il centro urbano di Genazzano. Da sinistra verso destra, per entrambi i centri: foto aerea, schematizzazione dell'impianto urbano e sezioni del centro urbano.

b) Il centro urbano di Palestrina e, in basso, il centro urbano di Cave. Da sinistra verso destra, per entrambi i centri: foto aerea, schematizzazione dell'impianto urbano e sezioni del centro urbano. (Cfr. Credits).



I disegni di Saverio Muratori per la redazione di *Studi per un'operante storia del territorio*, oggi raccolti nell'archivio nella Biblioteca Civica d'arte e architettura Poletti di Modena, legano i centri di Labico e Valmontone ad un percorso di fondovalle, mentre più a nord, la via Prenestina si snoda come percorso di controcinale su cui si attestano i percorsi di crinale secondari, che scendono dai Monti Prenestini, lungo i quali sorgono Castel San Pietro Romano, Palestrina, Rocca di Cave, Cave e Genazzano.

La campionatura dei singoli insediamenti, unendo la visualizzazione della loro forma urbana agli elementi del sistema litologico, permette di individuare gli aspetti peculiari di ciascun impianto (Figg. 3a, 3b). Zagarolo e Genazzano riprendono i caratteri degli insediamenti di promontorio, collocati su alture o speroni di roccia, delimitati da avvallamenti con impianto a fuso d'acropoli. Palestrina si distribuisce su un sistema di terrazzamenti verso la valle, su cui affaccia il Santuario della Fortuna Primigenia, mentre Cave, pur rispecchiando le caratteristiche dell'insediamento di promontorio – caratterizzato anche dalla fortificazione posta al termine del percorso di crinale che la collega a Rocca di Cave – presenta uno sviluppo urbano che sembra seguire, in parte, un andamento ad anelli concentrici⁴.

Ognuno di questi centri urbani ha avuto origine o una fase evolutiva come insediamento fortificato ad opera delle famiglie baronali dei Conti di Tuscolo e dei Colonna.

Dall'analisi delle fonti bibliografiche e cartografiche si evince che tra il X e l'XI secolo, la via Francigena del sud proponesse un percorso alternativo alla Prenestina antica, nei tratti in cui questa risultava non percorribile per l'eccessivo stato di abbandono (Fig. 4). Palestrina, anche in quanto sede suburbicaria della diocesi di Roma, assunse un ruolo dominante sul territorio, come principale roccaforte dei Colonna⁵. Con gli altri possedimenti della famiglia baronale manteneva un collegamento visivo, che le garantiva un maggior controllo sui confini colonnesi. La relazione visiva tra i vari centri che appartenevano ai Colonna è riscontrabile ancora oggi. Dai resti della fortezza di Castel San Pietro Romano, considerata l'acropoli di Palestrina, si vedono quelli di Rocca di Cave, a circa 4 km di distanza, e da Castel San Pietro Romano, in particolare dalla Chiesa di San Pietro Apostolo, è visibile Zagarolo, e ancora, verso la vallata, la città di Colonna, compresa un'ampia visuale su tutto il territorio fino ai profili più alti dei Colli Albani.

È verificabile anche l'intervisibilità tra Palestrina e Cave, il cui campanile, che oggi è rivolto verso il Santuario di Palestrina, richiama quel legame storico con la città vicina (Fig. 5).

Il nucleo originario di Cave era composto da un castrum con mura difensive, importante avamposto militare. Documenti del Regesto Sublacense attestano tra il 927 e il 990 la presenza di un castello rientrante nei confini di Palestrina. Gli accessi al castrum avvenivano dal percorso di crinale, che collegava Cave a Rocca di Cave, dall'antica Prenestina, proveniente da Palestrina e dall'ingresso a sud della via Francigena, che congiungeva i principali edifici di culto, posti fuori dalle mura fortificate (Di Nola, 2007).

⁴ Per una dettagliata descrizione degli insediamenti dell'area prenestina si veda D'Amato, Paris, 1976

⁵ Per una disamina degli assetti territoriali precedenti si veda anche il contributo di M. Magazzù in Brunori, Magazzù (a cura di), 2021.

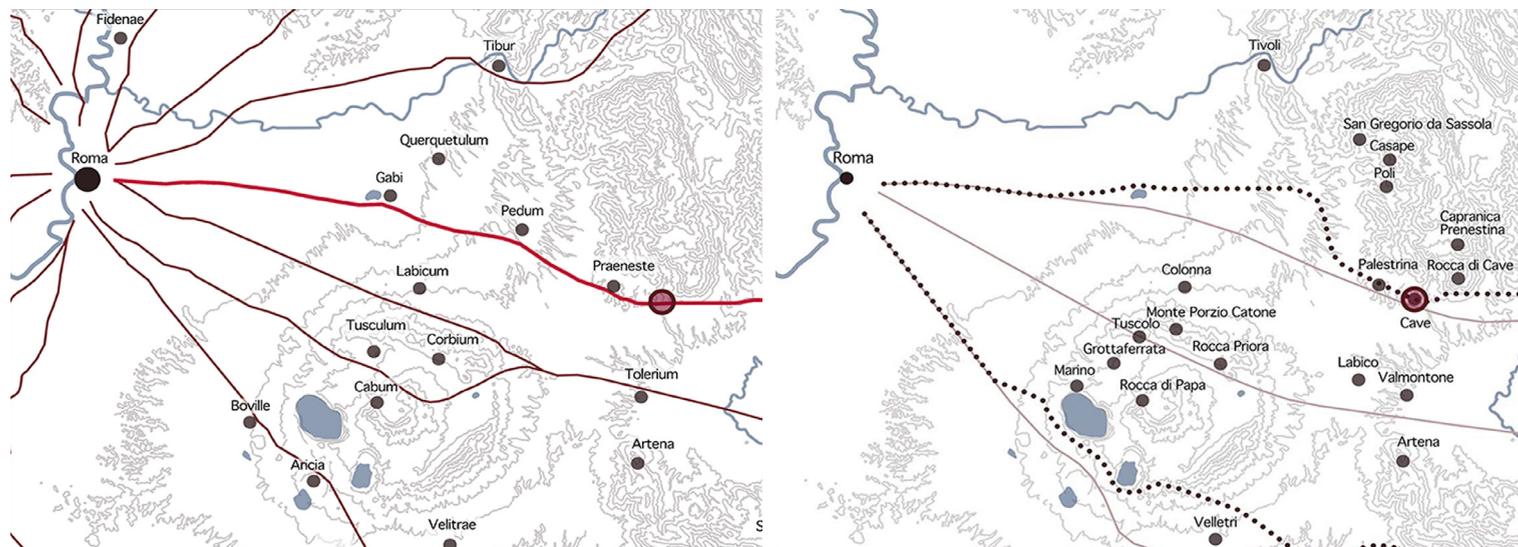


Fig. 4

A sinistra. La rete delle strade consolari in epoca imperiale. Nella tavola viene mostrato il sistema viario che collegava Roma con i principali centri sotto il dominio romano, nell'area della Campagna Romana. La via Praenestina in rosso attraversa il territorio passando in zone di fondovalle, raggiungendo l'antica Praeneste e Cave.

A destra. La rete delle vie francigene del sud tra il X e l'XI secolo. La via francigena del sud verso Cave ripercorreva alcuni tratti della via Praenestina e in parte risaliva lungo tracciati pedemontani, alle pendici dei Monti Prenestini, raggiungendo zone più salubri e protette, offrendo un diverso percorso nei punti in cui l'antica strada romana risultava non più percorribile.

Attraverso l'analisi dei modi in cui la città di Cave è stata rappresentata in alcune cartografie storiche, è possibile costruire una sorta di abaco temporale che rispecchia le trasformazioni della città in relazione alle vicende politiche ed economiche. Partendo dalle due cartografie di ispirazione Volpaiana, datate 1556 e 1557⁶, Palestrina, Cave e Genazzano vengono rappresentate come centri urbani turriti. Nella prima, i centri urbani sono uniti da un unico tracciato che partiva da Porta Maggiore a Roma, presumibilmente la Praenestina, nella seconda il percorso cambia, testimoniando un cambiamento dell'assetto politico: molti feudi dei Colonna, tra cui Cave, entrarono a far parte del Ducato di Paliano. Il tracciato viario sembra deviare ed escludere Palestrina, feudo dei Colonna soggetto a continue distruzioni, dovute ai conflitti tra la famiglia e lo Stato Pontificio.

Nel XV secolo l'intera proprietà del castrum di Cave apparteneva ai Colonna e al suo interno vennero costruiti i palazzi di importanti famiglie, come Palazzo Masticola. Dell'antico castrum resta l'arco d'ingresso della principale via di accesso. L'importanza attribuita a Cave è testimoniata dal fatto che nel 1557 Palazzo Leoncelli venne scelto per accogliere le delegazioni che firmarono il Trattato conosciuto come "Pace di Cave", che mise fine alla guerra di potere tra lo Stato Pontificio, la Francia e la Spagna. In quell'occasione, il Duca d'Alba ebbe modo di osservare la struttura militare che aveva resistito a tanti assedi. Ciò che rendeva Cave una fortezza inespugnabile era l'essere circondata da profondi avvallamenti e la presenza di accessi facilmente difendibili, come il piccolo ponte ad un'arcata posto sul fosso di Cave (cfr. Foschi, 2012: 115).

Consultando la carta del Cingolani, sulla Topografia dell'Agro Romano, è interessante osservare come Cave e Palestrina sembrino essere collegate da una strada che oltrepassa un fosso, probabilmente il Rio di Cave (Fig. 6), attraversamento che avveniva, secondo i documenti, tramite il ponte ad un'arcata costruito intorno al 1621. Cave si presenta come un piccolo aggregato urbano, in cui spicca un alto edificio centrale. Questo elemento ritorna anche nella rappresentazione del Catasto Alessandrino del 1660⁷.

Nella nuova carta dello Stato Ecclesiastico del 1755, Cave viene indicata con un pallino, simbolo dei casali e altri luoghi, circostanza che denota una perdita d'importanza del centro urbano. Nel 1703, infatti, la città aveva subito diversi danni per il terremoto che colpì l'Appennino Centrale e nel 1760 crollò la torre identificativa della città. Solo agli inizi dell'Ottocento Cave torna ad avere il simbolo di città turrita e rientra nei confini del Cantone di Palestrina, con cui è nuovamente collegata (Fig. 7).

Cessate le esigenze difensive, dalla metà del XVII secolo l'abitato di Cave iniziò ad espandersi fuori dal perimetro del borgo antico. Il tessuto urbano era suddiviso in contrade e la comunità agricola era gestita dagli ordini religiosi che si dividevano la città in aree di pertinenza. Dalla ricostruzione storica di Patrizia Di Nola (Di Nola, 2007) risulta che strade e abitazioni si trovassero in stato di degrado e che solo con i primi catasti colonnesi si avviarono azioni di recupero dei poderi agricoli e dei fabbricati.

⁶ Si vedano le tavv. 40 e 41 in A.P. Frutaz (1972), *Le carte del Lazio*, vol.II, XVII 2a, 2b.

⁷ Si veda la tav. 430/1 in Progetto Imago, Catasto Alessandrino, 1660.

Fig. 5

Studio della relazione visiva tra i centri di Cave e Palestrina. Attraverso sezioni territoriali e fotografie è stata ricercata la permanenza dell'intervisibilità tra Palestrina, un tempo principale roccaforte dei Colonna e Cave, la cui presenza come avamposto militare sotto il dominio di Palestrina è attestata nella seconda metà del X secolo.

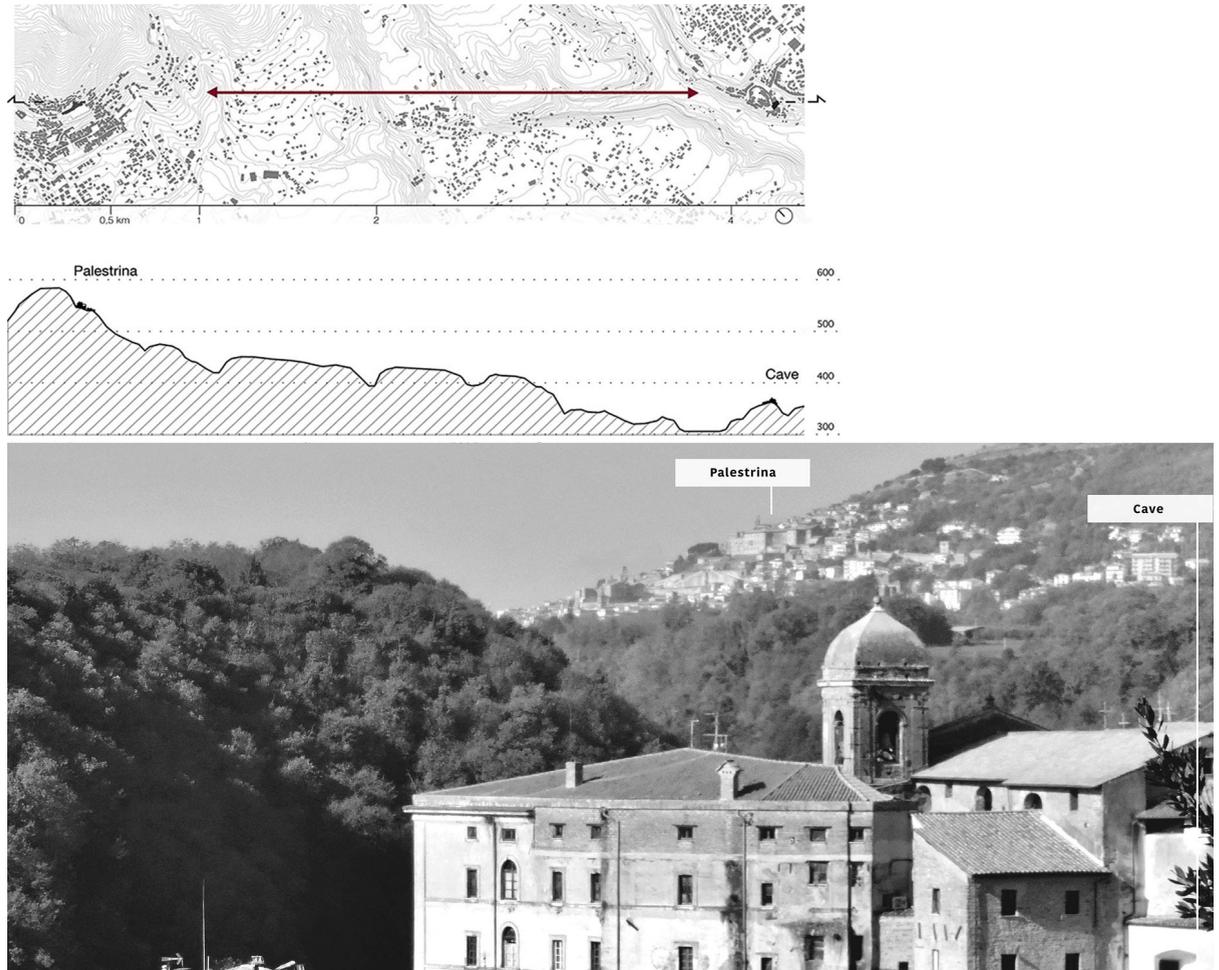


Fig. 6

I centri urbani nei dintorni di Cave, nella *Topografia geometrica dell'Agro Romano* di Giovan Battista Cingolani, 1692.

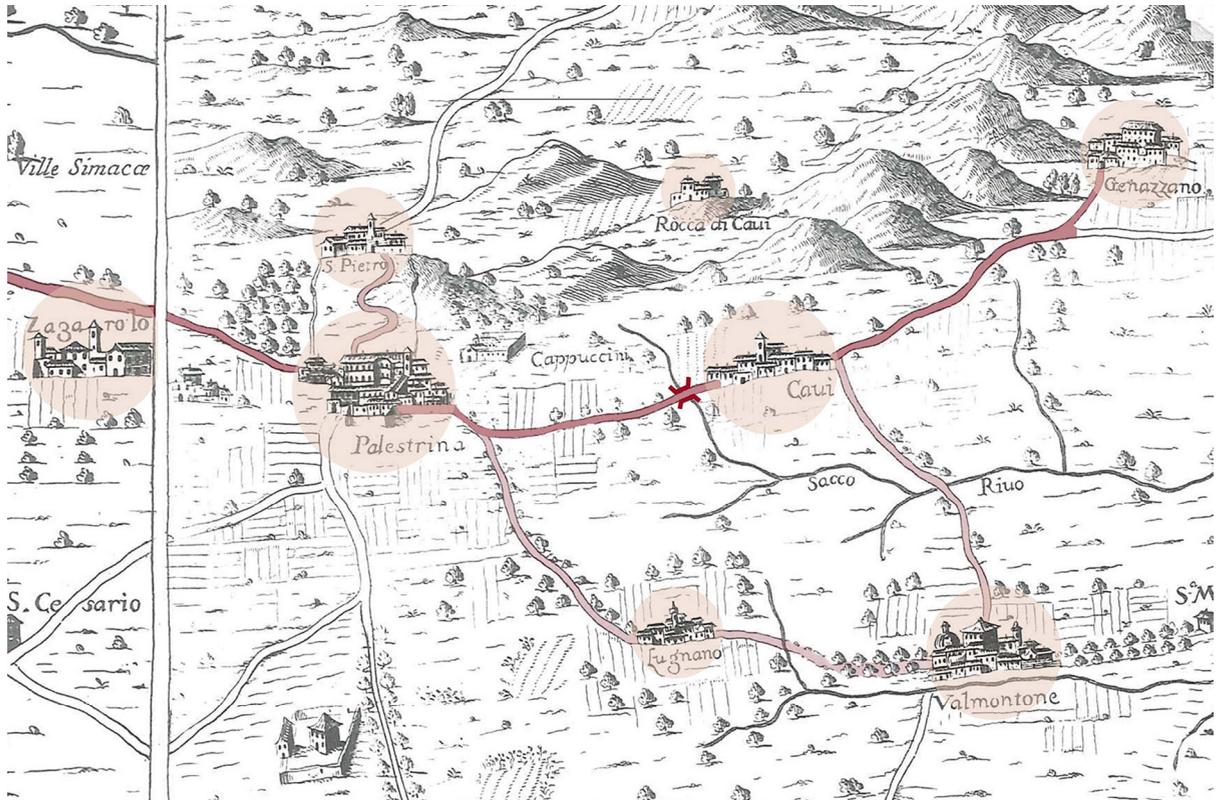
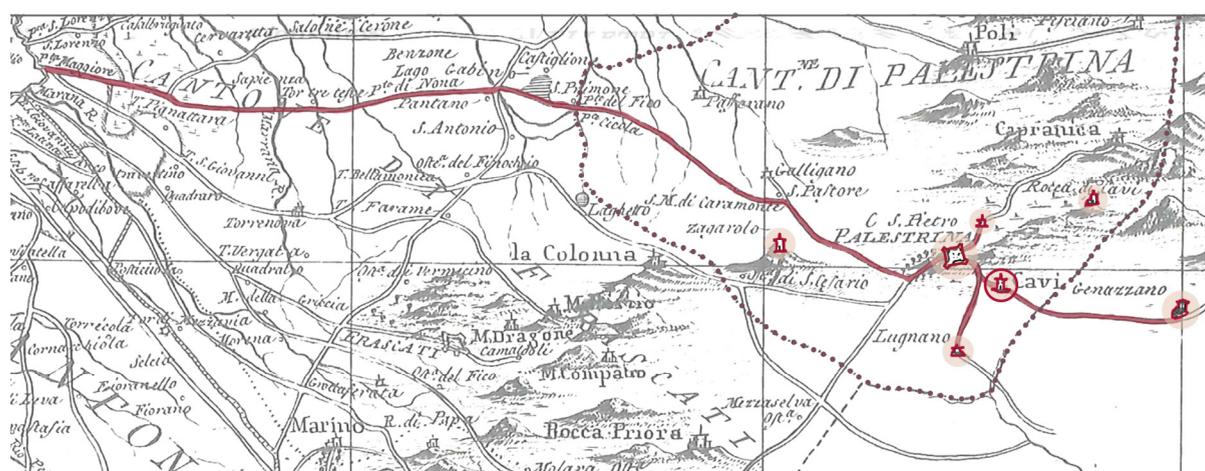




Fig. 7
 In alto, nella carta di Boscovich (1755), è evidenziato il tracciato della via Pretestina fino ai centri urbani intorno a Cave, che viene indicata con il simbolo dei casali; in basso, nella carta di Olivieri (1798-99), torna ad essere rappresentata come città turrita, rientrando all'interno dei confini del Cantone di Palestrina. (Cfr. Credits).



Studiando il Catasto dei Beni del Principe Colonna⁸ del 1821, è possibile identificare la rete di strade che univa il centro storico con le aree coltivate circostanti, riconoscendo quei ponti che segnavano il tracciato di collegamento con Palestrina, a partire dal ponte ottocentesco sul fosso di Cave e il piccolo ponte ad un'arcata medievale a sud, i due accessi principali al centro urbano. La comunità cavense viveva prevalentemente di agricoltura, come dimostrano alcune carte rappresentative di porzioni di terreni coltivati, sempre contenute nell'Archivio Colonna. Erano diffuse anche attività artigianali connesse con l'agricoltura e con il legno dei boschi di castagni, che circondavano il paese. Questo tipo di economia cambiò con l'avvento del nuovo secolo e l'arrivo della ferrovia. Tra il 1904 e il 1916 iniziarono i lavori per il passaggio delle Ferrovie Vicinali, progettate dall'ingegnere Antonio Clementi, che propose un tracciato che passava attraverso i suoi terreni di produzione, tra cui Cave e Genazzano. La linea ferroviaria rappresentò una nuova apertura ai legami territoriali, avvicinando i centri del Frusinate tra di loro e loro a Roma (Foschi, 2016).

Mettendo a confronto due carte dell'Istituto Geografico Militare è riscontrabile come tra il XIX e il XX secolo le modifiche apportate ai vecchi tracciati viari abbiano comportato per Cave un cambiamento dell'accesso e dell'attraversamento del suo abitato. Nella prima carta del 1874-1875, il percorso da Palestrina a Cave era caratterizzato da ponti in pietra che dovevano superare i diversi fossi che le separavano. In prossimità del centro storico si riconoscono il Ponte di Rapello, ponte medievale ad un'arcata che portava alle aree coltivate, e il Ponte di Cave, più a nord, costruito nel 1827 in sostituzione del ponte seicentesco che presentava un avanzato stato di degrado (Fig. 8).

⁸ Dalla consultazione online dell'Archivio Colonna di Paliano presso la Biblioteca del Monastero di S. Scolastica, è stato possibile richiedere la documentazione relativa al Catasto de' Beni Stabili dell'Eccellentissimo Principe Don Aspremo Doria Colonna esistenti nel territorio comunale di Cave, tavv. 1-2.

Fig. 8

Il sistema di collegamento tra Cave e e gli insediamenti limitrofi nel XIX secolo. Analisi dei tracciati a partire dalle tavole dell'Istituto Geografico Militare: Foglio 150 area Palestrina-Poli della Carta d'Italia I.S.E., 1876; Foglio 150 area Valmontone della Carta dell'Italia I.N.O., 1874. In particolare si osservano i ponti che attraversano il fosso di Cave, quello carrabile costruito nel 1827 a sette arcate (a destra in alto) e l'antico ponte a schiena d'asino ai piedi della contrada Rapello (a destra in basso), rappresentati in due cartoline riportate in Camilloni, Mancini, 2000.

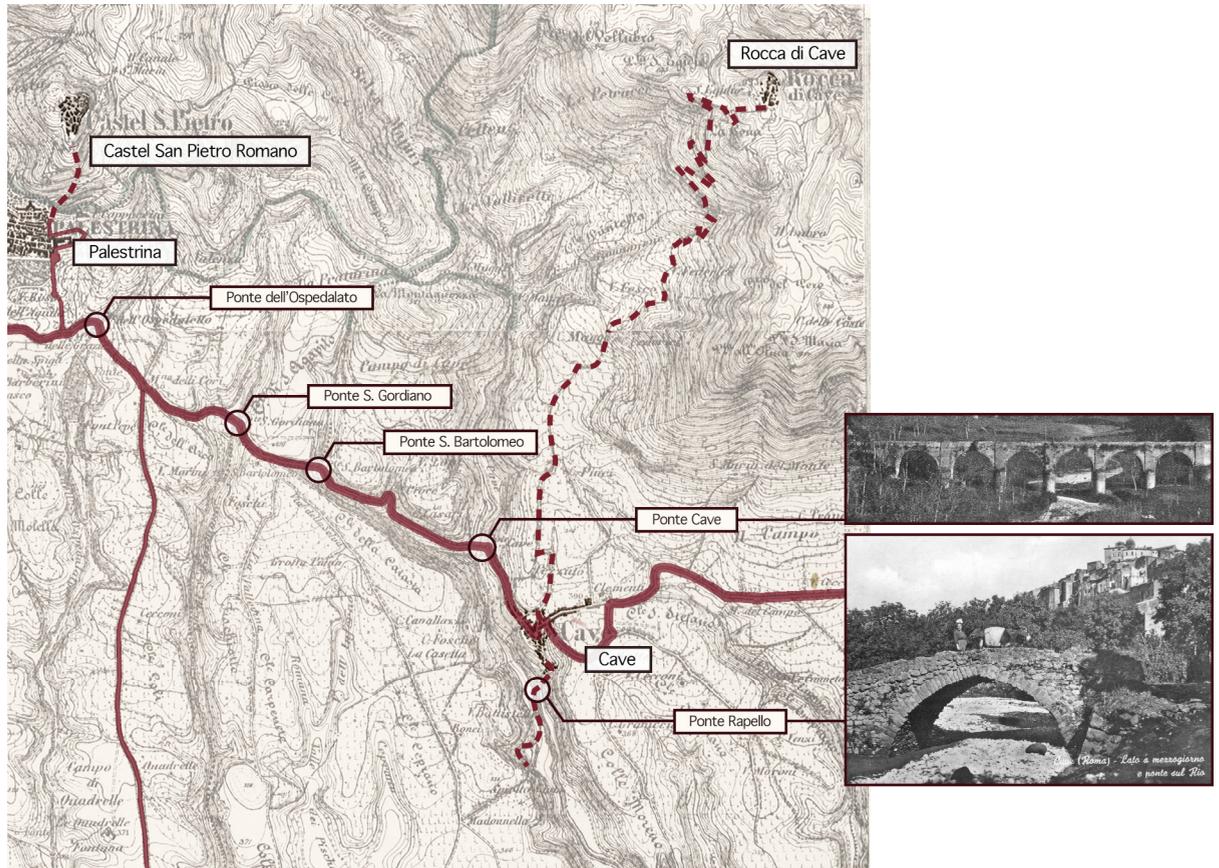
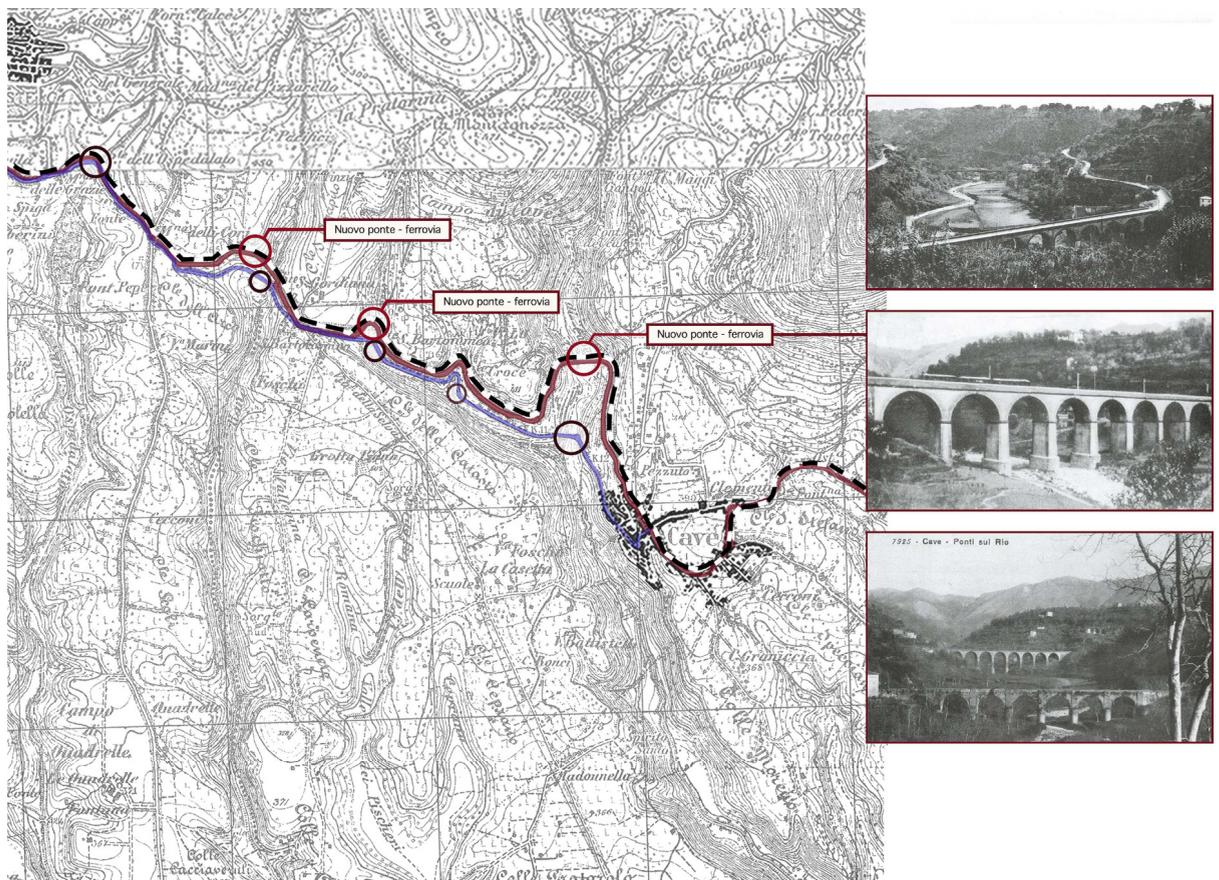


Fig. 9

L'assetto viario del territorio cavense in seguito alla costruzione della ferrovia. Le tavole dell'Istituto Geografico Militare (Foglio 150 Palestrina I SE, 1950; Foglio 150 Valmontone II NE, 1950) mostrano il nuovo percorso della strada principale tra Palestrina e Cave, necessaria per il passaggio della linea ferroviaria. A destra: tre foto del 1917 del nuovo ponte sul fosso di Cave, riportate nella raccolta Camilloni, Mancini, 2000.



La situazione rappresentata nella carta del 1950 mostra come i ponti più antichi siano stati sostituiti con nuovi tratti, dove far passare la strada SR155 e il treno a scartamento ridotto della linea ferroviaria. Il ponte ottocentesco, costruito per superare il fosso di Cave, rimase a disposizione delle frazioni vicine ma per le mutate esigenze di circolazione, venne costruito un moderno ponte più a nord (Fig. 9).

In origine l'accesso a Cave ribatteva il percorso dell'antica via Prenestina a Nord-Ovest ed entrava nel denso tessuto urbano del castrum. La costruzione della ferrovia ha comportato l'organizzazione di un nuovo assetto viario: la strada principale (la SR155 che nel tratto urbano prende il nome di via della Cona) lambisce il nucleo più antico, in qualche modo separandolo dal resto del tessuto urbano. Ancora oggi, nonostante non ci sia più la ferrovia, rimane leggibile il progetto della sistemazione viaria che prevedeva un viale alberato che terminava nella piazza del mercato. Il sistema insediativo, oltre a svilupparsi lungo la SR155, ha visto un tipo di organizzazione a pettine lungo la viabilità locale. Le aree rurali sono state caratterizzate da edificazioni sparse, destinate ad attività agricole con le connesse residenze. Un'importante porzione di tessuto edilizio di espansione novecentesca è costituito dai villini in stile Liberty, costruiti a partire dall'inaugurazione della ferrovia avvenuta nel 1916, fino agli anni '30, testimonianza del periodo in cui Cave era nota e apprezzata come stazione idroclimatica. I villini si configurano come un sistema puntuale diffuso. La maggior parte venne costruita lungo la via della Cona, il viale alberato oggi viale Pio XII, che accompagnava l'ingresso in città dal centro storico alla stazione ferroviaria, facendo da quinta stradale. Le numerose cartoline d'epoca custodiscono e tramandano l'immagine urbana di quegli anni, in cui i nuovi edifici si introdussero armoniosamente nel tessuto urbano, mantenendo altezza e dimensioni proporzionate agli edifici storici. Il loro stile architettonico richiama quello di alcuni quartieri romani della stessa epoca, ma essi rappresentano anche l'espressione delle abilità delle maestranze locali, soprattutto nella lavorazione del legno e del ferro battuto. (Moroni, Mosetti, 2013; Camilloni, Mancini, 1994).

7.2. Tessuto urbano e tipi edilizi a Cave

Michele Zampilli, Giulia Brunori

Il serrato tessuto urbano del centro storico di Cave⁹ riprende i caratteri tipici degli insediamenti di promontorio attestandosi su una serie di percorsi quasi concentrici che, a partire dal nucleo più antico, si articolano sulle pendici dello sperone roccioso alla sommità del quale sorgeva l'antico castello.

Il tessuto, così come ci appare oggi, è frutto di una serie di stratificazioni storiche che si sono succedute nei diversi momenti di formazione e trasformazione della struttura urbana auto-alimentandosi della dismissione o del rimpiego delle strutture delle fasi precedenti.

Per ricostruire a ritroso il processo formativo del tessuto è necessario leggere ciò che di questo processo è rimasto nella città contemporanea. Per fare questo è indispensabile operare una lettura incrociata tra mappe catastali e rilievi murari accompagnata da una accurata osservazione sul campo per un puntuale rilievo critico, strumento fondamentale per individuare le discontinuità murarie ed i rapporti tra le diverse cellule che compongono gli aggregati, fenomeni di giustapposizione tra cellule, accrescimenti, sopraelevazioni e rifusioni tipiche dell'evoluzione del costruito edilizio. (Fig. 1 e 2).

Legenda

<p>DISCONTINUITA' MURARIE <i>pianta</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Spigolo, angolata o spalla Accostamento a superficie finita in nodo murario Elementi diversi appartenenti alla stessa fase. Si appoggia a... Rottura, taglio 	<ul style="list-style-type: none"> Si appoggia, si addossa, copre... elemento lapideo elemento di datazione relativa o assoluta discontinuità tra scatole murarie 	<p>ORIZZONTAMENTI</p> <ul style="list-style-type: none"> solaio ligneo ad orditura semplice solaio ligneo a doppia orditura volta a crociera volta a botte 	<p>QUADRO FESSURATIVO <i>prospetto</i></p> <ul style="list-style-type: none"> fessurazioni, fratture, lesioni fratturazioni, lesioni concentrate espulsione del paramento crolli di parte e/o caduta di elementi
<p>DISCONTINUITA' MURARIE <i>prospetto</i></p> <ul style="list-style-type: none"> tamponatura traccia di solaio, copertura linea di sopraelevazione canna fumaria 	<p>DISCONTINUITA' D'IMPIANTO</p> <ul style="list-style-type: none"> vicolo vicolo tamponato ambitus ambitus tamponato flesso murario 	<p>PRESIDI ANTISISMICI</p> <ul style="list-style-type: none"> catena lignea o metallica linea d'azione dell'incatenamento sperone arco di sbadaccio radiciamento 	<p>QUADRO FESSURATIVO <i>sezione</i></p> <ul style="list-style-type: none"> espulsione di materiale spanciamento fuori piombo

Fig. 1

Legenda del rilievo critico e del quadro fessurativo.

⁹ Questo paragrafo riprende, con alcune modifiche e integrazioni, uno scritto già pubblicato da Brunori, 2021. Il metodo di lettura tipologico-processuale si basa sulle ricerche e gli insegnamenti di Gianfranco Caniggia che, ereditando le teorie formulate da Saverio Muratori nei suoi studi sulla città storica (Muratori, 1950; Muratori, 1960; Muratori, 1963) inerenti all'organismo architettonico e urbano ed al tipo edilizio, le sistematizza e le rende operative ed applicabili nello studio dei tessuti urbani storici (Caniggia, 1963; Caniggia, 1976; Caniggia, 1979). Per alcuni esempi applicativi di questo metodo di lettura si rimanda ad alcuni contributi recenti degli estensori di questo saggio: (Zampilli, 2014; Brunori, Cretarola, Zampilli, 2017; Zampilli, Brunori, 2020; Zampilli, Brunori, 2021b).

Fig. 2

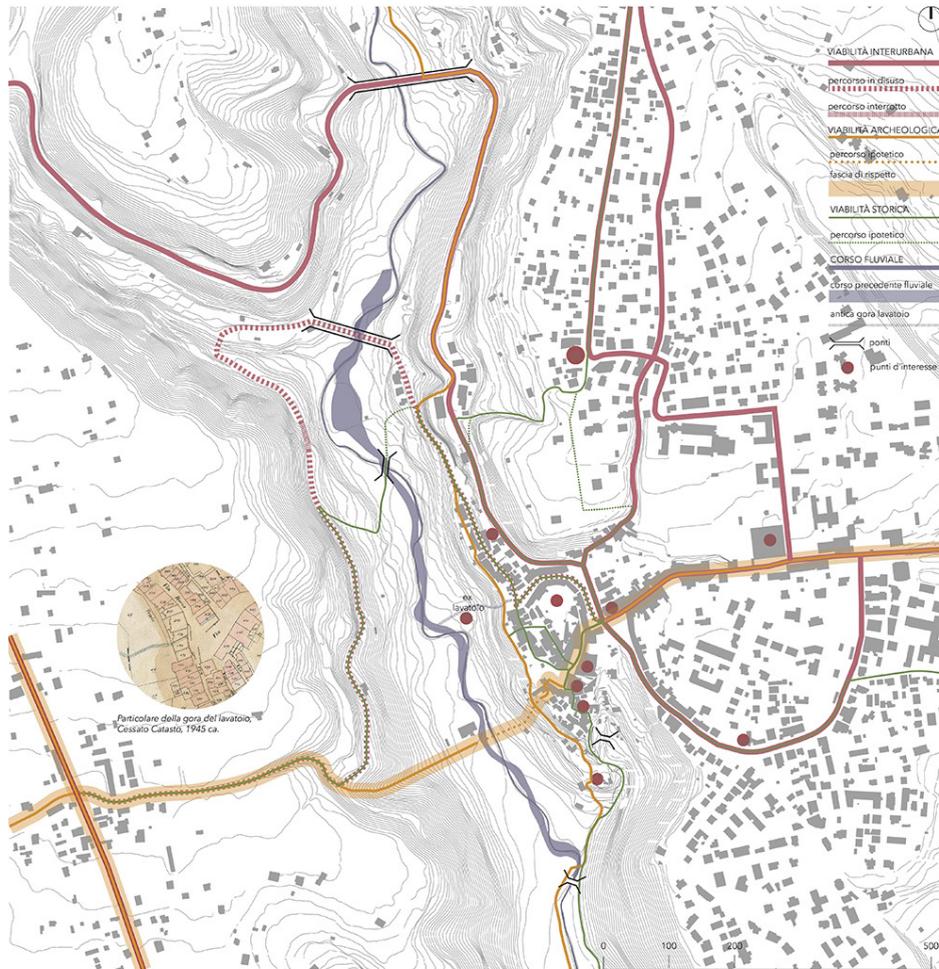
Rilievo critico in pianta e in alzato di una strada del centro storico di Cave. (Cfr. Credits).



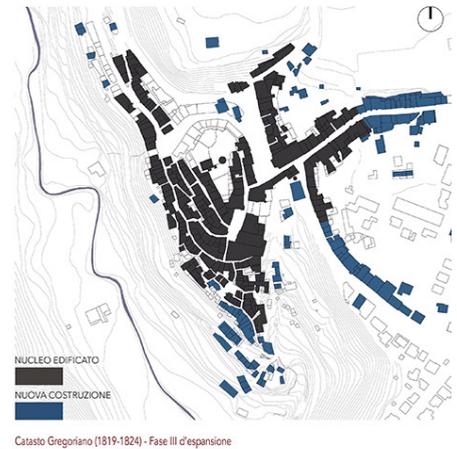
La lettura degli aggregati è indirizzata all'individuazione di tutte le discontinuità planimetriche quali: spigoli di fabbricati occultati da accrescimenti successivi, punti di flesso concavi o convessi che indicano addossamenti a cellule preesistenti, variazioni delle dimensioni delle sezioni stradali che possono evidenziare il progressivo avanzamento del fronte costruito (ad esempio con l'assorbimento di una scala esterna o di un portico) a discapito del percorso pubblico.

Importanti segni della storia formativa di un tessuto sono anche la presenza di prospetti a capanna sul fronte stradale che indicano la possibile casa originaria (spesso accompagnata da ambitus almeno su un lato); oppure edifici con ridotte dimensioni del fronte (3-4 metri), o con un'unica fascia di bucaie, che contraddistinguono spesso una unità edilizia di intasamento inseritasi tra due edifici preesistenti, o rappresentano la chiusura di un vicolo interno. Ed anche edifici in linea o palazzetti apparentemente unitari, che per alcune anomalie

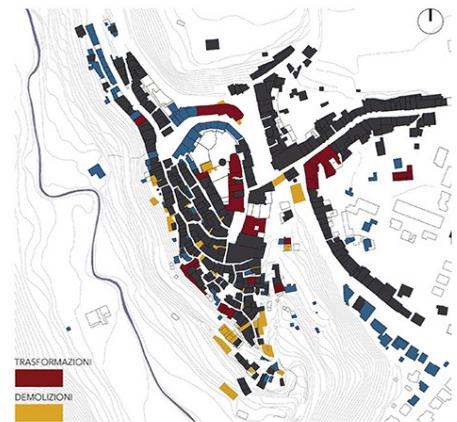
Analisi dei percorsi storici



Confronti catastali

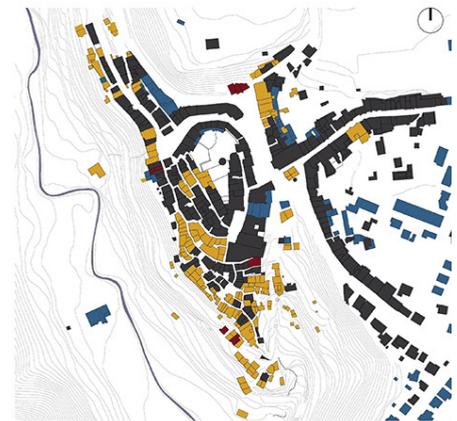
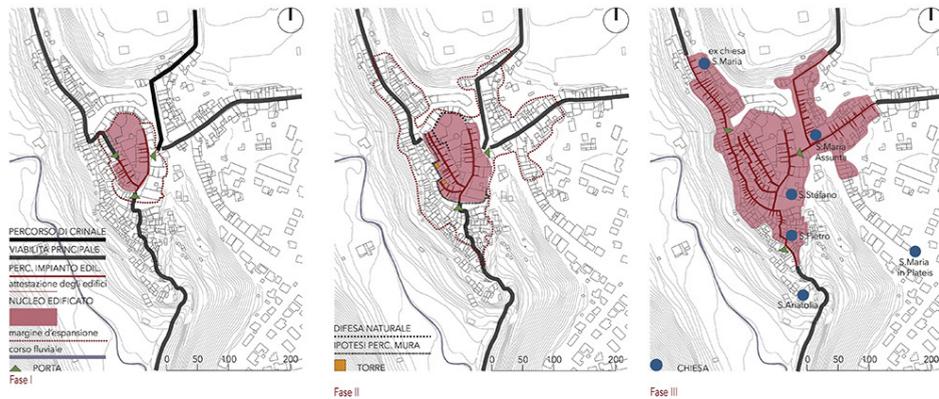


Catasto Gregoriano (1819-1824) - Fase III d'espansione



Catasto Gregoriano - Censato catasto (1945 ca.)

Schema d'espansione dell'abitato



Censato Catasto - Catasto attuale

nell'impaginato di prospetto possono significare una rifusione di più case a schiera. Tutti questi fatti, i cui segni molto spesso sono ancora visibili, o comunque disvelabili, raccontano il processo di formazione e trasformazione del tessuto e possono essere verificati confrontando i catasti storici ed un buon rilievo murario ma, soprattutto, con un'attenta osservazione in situ. Importante è anche la comparazione tra brani di tessuti analoghi o a diversi stadi di accrescimento, accompagnata da una buona conoscenza dei tipi edilizi e della loro appartenenza a diverse fasi di espansione del tessuto, sia come varianti sincroniche che come variazione diacroniche tipiche di quel particolare tessuto. Il centro storico di Cave è costituito interamente da tessuti di case a schiera, seppur non si possa escludere la presenza, almeno in una primissima fase insediativa, di alcune case a corte, oggi non più riconoscibili, densificatesi ai margini dei principali assi di penetrazione e percorrenza dell'abitato. Questo avviene sia per il tessuto

nella pagina a fianco

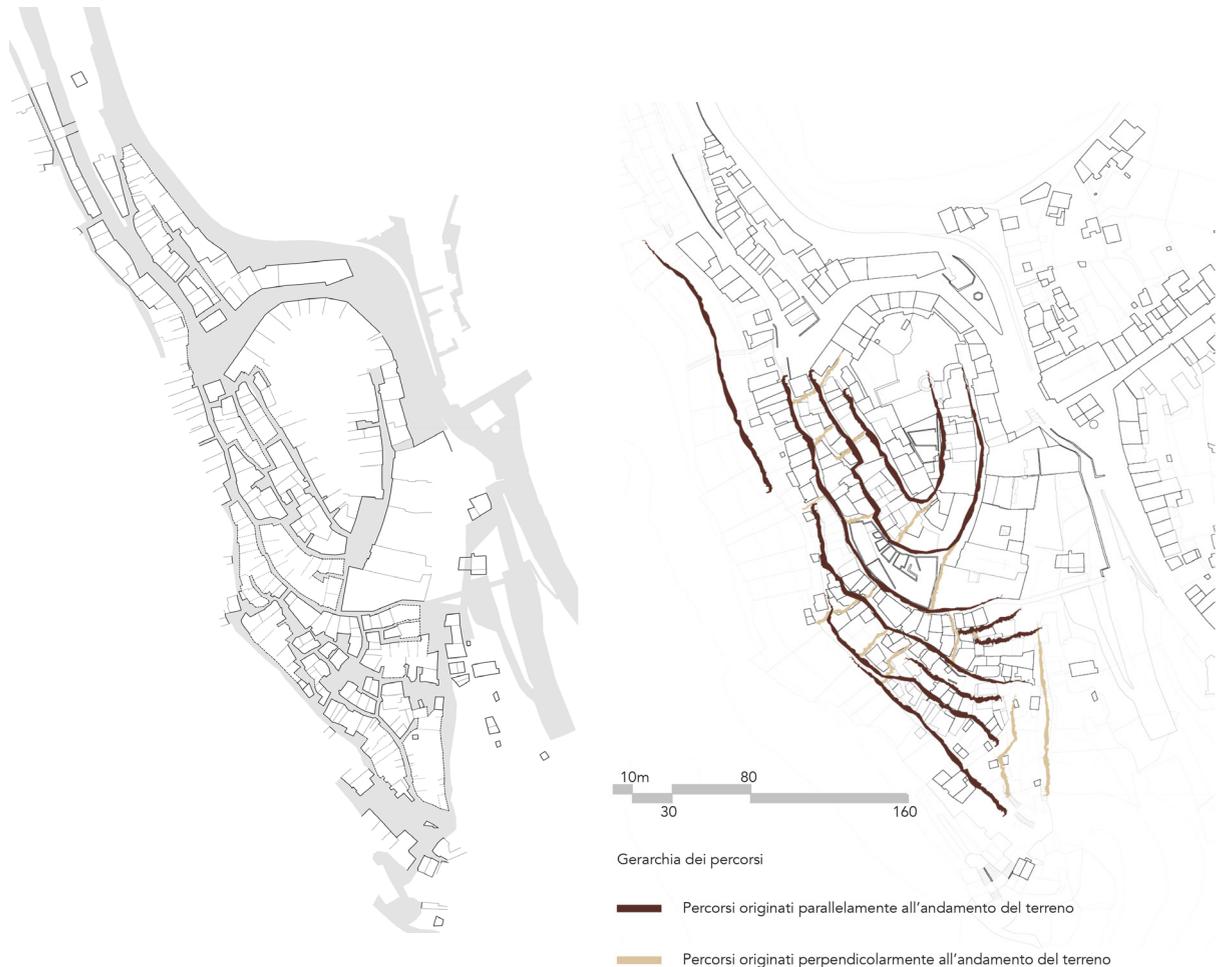
Fig. 3

In alto: lettura percorsi storici del territorio di Cave. In basso: ipotesi sulle fasi evolutive del centro storico. A destra: confronto tra le mappe catastali con individuazione del costruito conservato, quello demolito e quello accresciuto. (Cfr. Credits).

a destra

Fig. 4 e 5

A sinistra, allineamenti fondiari in relazione ai percorsi. A destra, carta dei percorsi principali che definiscono il tessuto del nucleo storico. (Cfr. Credits).



interno all'antica cerchia muraria, sia per quello sorto in corrispondenza dei tratti extra moenia dei percorsi di accesso al centro storico e di discesa verso il fondovalle (Fig. 3).

Come di norma, gli edifici si dispongono con una certa modularità riflettendosi sia nel ritmo dei prospetti sia negli allineamenti planimetrici; i lotti sono tendenzialmente rettangolari con un fronte in media di 5 metri e con i lati lunghi perpendicolari alla strada (Fig. 4). L'edificazione di questi primi lotti avviene su percorsi preesistenti, i cosiddetti percorsi matrice, la cui tendenza alla naturale rettilineità è continuamente variata dalla necessità di superare ostacoli naturali che porta, in un insediamento di promontorio piuttosto scosceso come quello di Cave, alla formazione di percorsi curvilinei che condizionano l'articolazione del costruito. L'edilizia si trova infatti costretta a mediare tra la sopracitata tendenza all'ortogonalità dei lotti e la necessità di seguire l'andamento del percorso, dando così luogo a configurazioni trapezoidali dei lotti.

Percorsi matrice sono via piè di Palazzo e via Concordia, mentre altri percorsi, tendenzialmente perpendicolari a questi, i cosiddetti percorsi d'impianto, sono generati nei varchi o nei vuoti rimasti nel continuum edificato. Sono vie prevalentemente in pendenza, trasversali o perpendicolari rispetto alle curve di livello concentriche del promontorio, che permettono l'edificazione delle fasce più a valle (Fig. 5).

Pur rientrando a pieno titolo nel tipo di tessuti a schiera, intesi come un'edilizia monocellulare aggregata in serie, quelli cavesi non presentano la tipica fascia di pertinenza che solitamente si pone nella parte retrostante del costruito, spazio aperto che progressivamente viene intasato per gli accrescimenti delle cellule edilizie. L'assenza, o comunque la scarsissima estensione, di questa fascia è dovuta al forte dislivello altimetrico del promontorio sul quale si sviluppa l'insediamento. Le case sono infatti principalmente monocellulari, o con un modesto accrescimento in profondità, e spesso le unità edilizie a monte si articolano 'schiena a schiena' con quelle a valle servite da un percorso ad un livello più basso. Fa eccezione il tessuto sorto sul percorso di accesso alla antica residenza fortificata, via Scaloni alla torre, che presenta una conformazione più canonica, con l'area di pertinenza retrostante al fronte principale occupata occupata anch'essa, a vari gradi di intasamento, da corpi di accrescimento.

L'importante espansione sei-settecentesca al di fuori dell'antico centro, principalmente su Via Roma e Corso Vittorio Emanuele, ha fatto sì che all'interno del nucleo il tessuto non subisse eccessive modifiche e rifusioni in



Fig. 6
Esempio di ipotesi delle principali fasi di formazione e trasformazione di un tessuto urbano. Via della Concordia. (Cfr. Credits).

epoca moderna. Infatti, fatta eccezione per il tessuto su via Scaloni alla torre e via del Fossato dove si attestano quasi tutti i palazzetti nobiliari e borghesi di rifusione sette-ottocentesca, i tessuti di case a schiera si presentano ad uno stato di maturità senza eccessive alterazioni che ne permette la lettura e la ricostruzione, con una buona approssimazione, delle fasi formative.

Il processo di evoluzione dei tessuti in esame è quello tipico di agglomerati coevi dell'area romana ed è perciò sufficiente analizzare alcune porzioni che possano risultare esemplificative per le modalità di formazione di tutto l'insediamento.

Dal riconoscimento di alcune discontinuità e della conformazione planimetrica e dei fronti è possibile individuare quali siano state le prime unità edilizie ad occupare i lotti, per le quali si ipotizza, a volte supportati dalla presenza di soluzioni di continuità nei paramenti murari, un tetto a capanna su strada¹⁰ e massimo un piano fuori terra oltre al basamento (Fig. 6).

Ad una fase più tarda appartengono le cellule di intasamento, che vanno a disporsi nei lotti ancora liberi, ed i primi accrescimenti in altezza concomitanti con il cambio di geometria dei tetti che, una volta raggiunta la completa edificazione dei fronti, assumono la conformazione attuale spioventi su strada. Successivamente assistiamo all'occlusione dei vicoli rimasti ancora liberi ed alla rifusione di alcune unità edilizie. Una condizione particolare che incide sul processo tipologico del tessuto urbano è rappresentata dalla relazione delle abitazioni con l'antico tracciato delle mura cittadine.

Ad esempio, il comparto urbano di via Piè di Palazzo (Fig. 7) si sviluppa a partire dalla torre (attigua alla porta d'accesso ovest) appartenente alla cinta difensiva medievale. Come accade anche in altre porzioni di abitato (come per il tessuto di via Indipendenza-via Scaloni Bielli) le prime case si addossano alla cinta muraria internamente, sfruttando il muro già presente e la posizione strategicamente sicura. Successivamente, quando in seguito ai mutati equilibri politici le mura cessano la loro funzione di protezione, le unità cominciano ad addossarsi anche esternamente al recinto e contestualmente la torre si piega ad un uso residenziale.

Scendendo alla scala dei singoli edifici la ricognizione di tutto il costruito storico consente di produrre due diversi elaborati:

- un abaco schematico riassuntivo (Fig. 8) il quale, lungi dal voler essere un'astrazione esaustiva, è in realtà un fondamentale strumento di studio e comprensione del reale, in primis per lo studioso che lo redige,

¹⁰ La presenza di edifici con tetto a capanna fronte strada è caratteristica delle primissime fasi evolutive dei tessuti urbani in quanto la parziale occupazione dei lotti permetteva lo scarico delle acque lateralmente. A questa fase appartengono infatti anche gli ambitus, distacchi di 60 cm- 1 mt tra le unità edilizie con il duplice scopo di mantenere la separazione tra scatole murarie appartenenti a differenti proprietà e di permettere lo scarico delle acque piovane.

Fig. 7

In alto a sinistra: rilievo critico delle discontinuità in alzato. A destra: rilievo critico in pianta. In basso: ipotesi sulle fasi di formazione di una porzione del tessuto urbano di Cave. (Cfr. Credits).

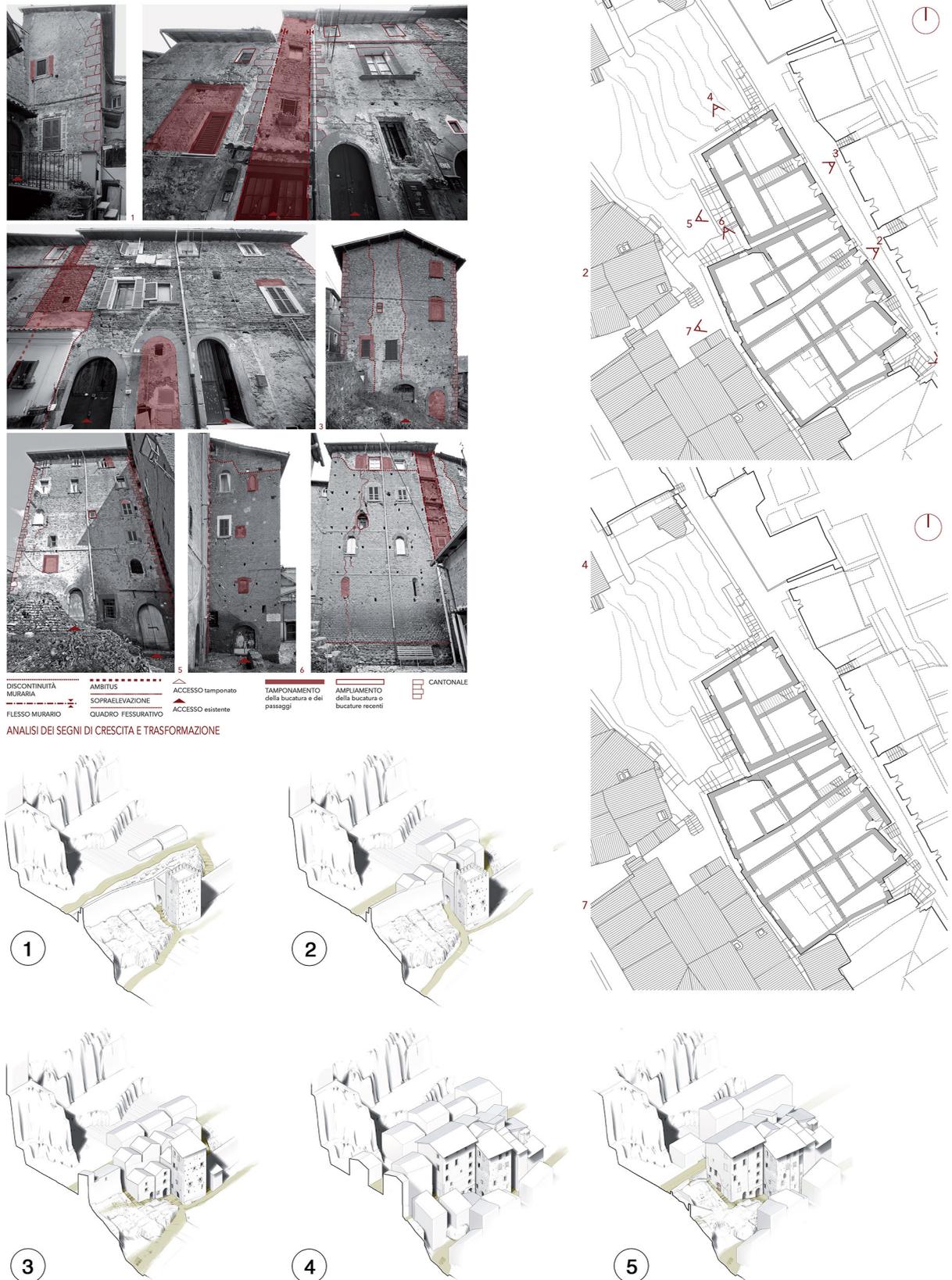


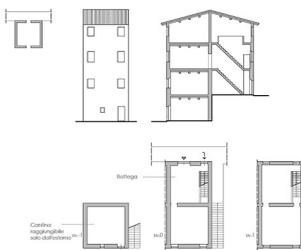
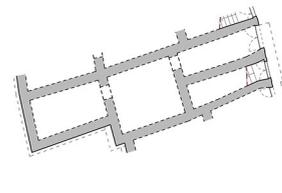
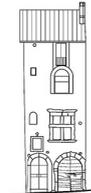
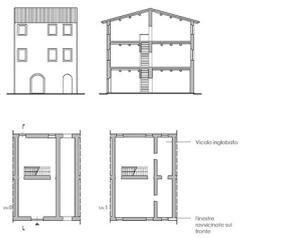
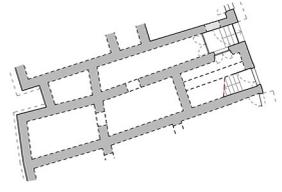
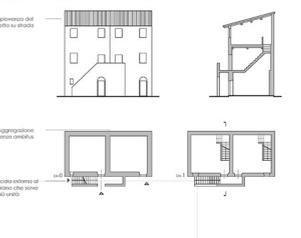
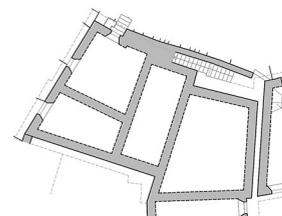
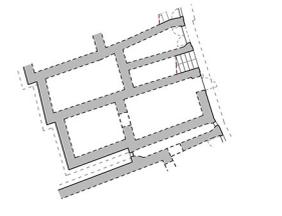
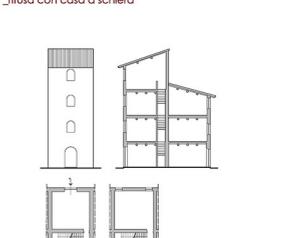
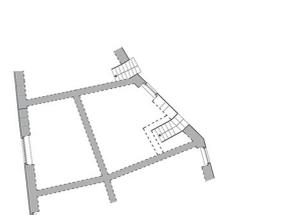
Fig. 8
 Sopra: Abaco dei tipi edilizi ricorrenti e delle varianti sincroniche più significative.
 Sotto: Abaco fotografico di tipi edilizi, tipi costruttivi e dettagli architettonici.
 (Cfr. Credits).



Fig. 9

Esempi reali di tipi edilizi individuati nel costruito storico di Cave. (Cfr. Credits).

TIPI EDILIZI_LETTURA SULLO STATO ATTUALE DELL'EDIFICATO STORICO

<p>TIPO EDILIZIO CASA A SCHIERA MATURA variante sincronica per posizione (terreno acclive)</p>	<p>Casa a schiera matura _posta su pendio con uno o più livelli seminterati</p> 	<p>PARTICELLA N° 435_Via Concordia</p> 			
	<p>Pianta e prospetto _Scala 1:200</p>				
	<p>TIPO EDILIZIO CASA A SCHIERA MATURA variante diacronica per rifusione</p>	<p>Casa a schiera matura _inglobamento del vicolo</p> 	<p>PARTICELLA N° 434_Via Concordia</p> 		
		<p>Pianta e prospetto _Scala 1:200</p>			
		<p>TIPO EDILIZIO CASA A PROFFERO variante sincronica</p>	<p>Casa a profferlo _profferlo che serve più unità</p> 	<p>PARTICELLA N° 654-655-656-657_Via Rapello</p> 	
<p>Pianta e prospetto _Scala 1:200</p>					
<p>TIPO EDILIZIO CASA A PROFFERO variante diacronica</p>			<p>Casa a profferlo _con scala ortogonale al percorso, semitamponatura del profferlo</p> 	<p>PARTICELLA N° 436_Via Concordia</p> 	
	<p>Pianta e prospetto _Scala 1:200</p>				
	<p>TIPO EDILIZIO CASA TORRE variante diacronica</p>		<p>Casa a torre _fiusa con casa a schiera</p> 	<p>PARTICELLA N° 476_Via dei Coralli</p> 	
		<p>Pianta e prospetto _Scala 1:200</p>			

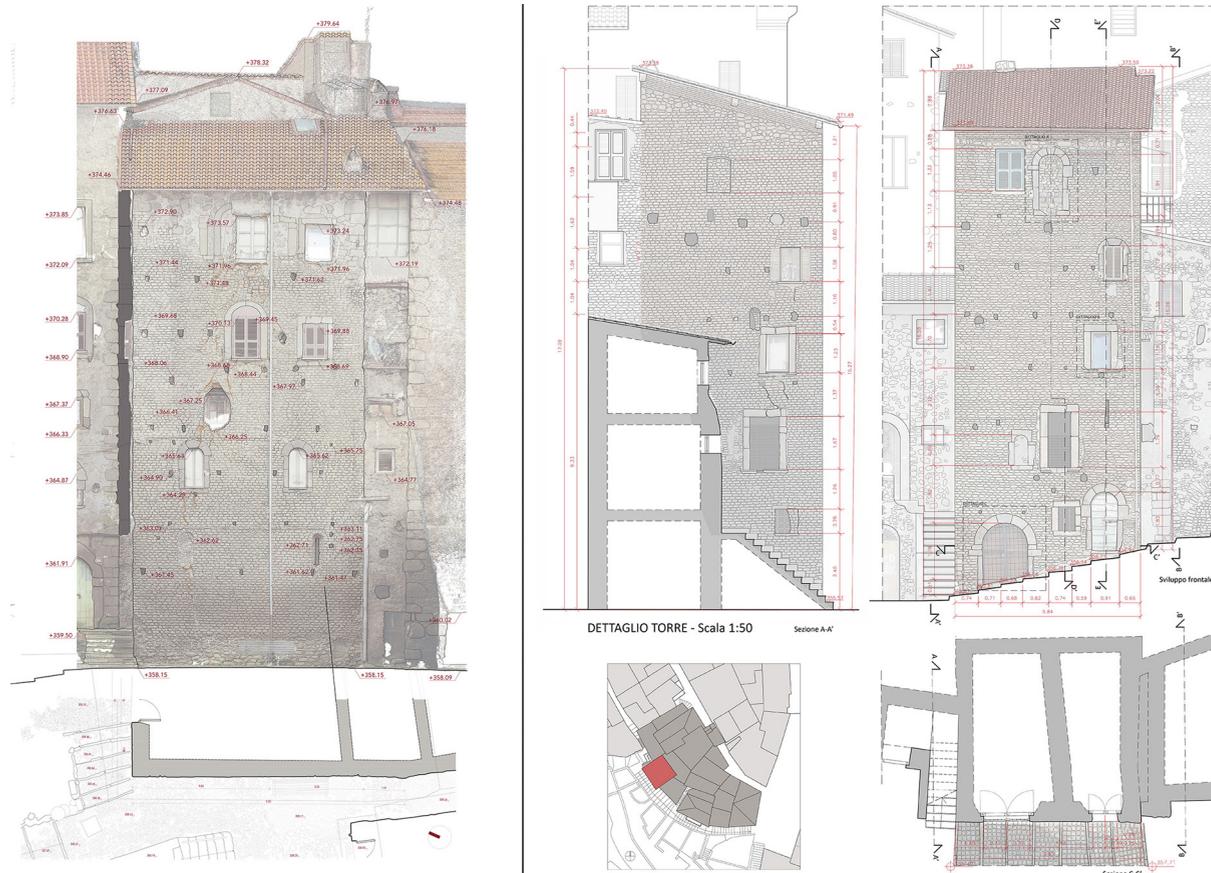


Fig. 10
Rilievo di una casa-torre.
(Cfr. Credits).

perché permette a colpo d'occhio di cogliere la complessità del processo di sviluppo del costruito sia in senso diacronico che, soprattutto, nella varietà di soluzioni sincroniche per adattarsi a condizioni particolari come particolari collocazioni nel tessuto o il riuso di preesistenze;

- la redazione di una casistica reale di edifici riconducibili (con diversi livelli di tipicità) ai tipi edilizi individuati, che permettono di cogliere gli aspetti peculiari della realtà edilizia locale e di legare la riflessione tipologica con l'ulteriore scala d'indagine delle tecniche costruttive. (Fig. 9).

Nel centro storico di Cave sono ancora ben riconoscibili i tipi prevalenti: la casa a schiera e la casa a profferlo.

Il primo è il tipo maggiormente diffuso nell'edilizia cavese, di 5-6 metri di estensione del fronte e prevalentemente monocellulare, presenta nella sua variante matura 2 piani fuori terra oltre il piano basamentale. L'impaginato di prospetto presenta un doppio portale al piano terra ed un'unica finestra, solitamente in posizione centrale, al primo piano, mentre ai piani superiori le finestre sono divaricate in presenza dei muri di spina. La distribuzione verticale è affidata ad una scala interna ad una rampa parallela al prospetto, nella versione più arcaica, o perpendicolare al prospetto con accesso indipendente che permetteva la separazione tra l'ingresso e l'ambiente destinato alle attività produttive o commerciali.

Il tetto doveva essere, come accennato in precedenza, a timpano sul prospetto principale e poi a doppia falda con spioenza su strada in una successiva fase di intasamento dei fronti.

Le varianti diacroniche successive presentano solitamente un piano di accrescimento in altezza e, più raramente, un accrescimento in profondità nell'area di pertinenza che, come già detto, spesso risulta del tutto assente.

Per quanto riguarda le varianti sincroniche di particolare interesse è la variante su pendio, caratteristica del fronte sud-ovest dell'abitato, che presenta, complice il forte dislivello, fino a cinque piani fuori terra verso valle. Questi piani, originariamente accessibili solo dai percorsi a valle e perciò separati dagli spazi abitativi situati nei piani che affacciavano a monte, dovevano essere adibiti a stalle, fienili o locali per lo stoccaggio dei raccolti o della legna, considerata anche l'accessibilità e la stretta relazione con i terreni agricoli e boschivi circostanti.

Un'altra variante piuttosto diffusa è quella sincronica per posizione di intasamento, quelle unità edilizie cioè che arrivano ad intasare uno spazio libero tra due unità precedentemente edificate. Queste spesso presentano un'estensione del fronte ridotta, anche perché sfruttano i muri di spina già presenti, dove il tradizionale maschio murario centrale risulta molto compresso.

La casa a profferlo ricalca dimensionalmente le caratteristiche della casa a schiera ma presenta una distribuzione affidata per il primo piano ad una scala esterna, il profferlo per l'appunto, che si dispone solitamente parallelo al fronte principale. Peculiare è il rilevamento di alcune case a profferlo incluse nel tessuto con la scala in posizione perpendicolare rispetto al percorso matrice.

Con la progressione del processo evolutivo il profferlo viene inglobato nel tessuto e, mantenendo la sua funzione distributiva, serve più particelle attigue.

Il tipo edilizio della casa torre deriva, a Cave, dalla basificazione delle torri appartenenti alla cinta muraria. A pianta quadrata, di lato circa 5-6 metri, la casa a torre si sviluppa fino a 3-4 piani fuori terra, originariamente introversa e con poche aperture, una volta persa la funzione difensiva si piega all'uso abitativo dotandosi di nuove aperture ed allargando quelle preesistenti (Fig. 10).

A completare la varietà tipologica del tessuto edilizio caveese troviamo i palazzetti di rifusione, edifici pluricellulari derivanti dalla rifusione di diverse unità a schiera pre-esistenti.

I palazzetti, addensati soprattutto sul percorso di via Scalonì alla torre e via del Fossato, si presentano sia con fronti reimpaginati con lo scopo di dare maggiore unitarietà al nuovo fronte, come ad esempio Palazzo Leoncelli, che con i fronti che mantengono le discontinuità di impaginato tipiche degli edifici di rifusione, come Palazzo Mattei o Palazzo Toppetti.

Riconoscere ed analizzare le fasi di formazione del tessuto urbano ed i caratteri dei tipi edilizi presenti è fondamentale per impostare progetti di restauro, recupero o conservazione che si basino sulla conoscenza del processo aggregativo delle cellule dalla cui comprensione dipende non solo il mantenimento della morfologia urbana ereditaria ma anche la possibilità di operare interventi coerenti con il funzionamento meccanico del costruito storico.

Infatti, dalla comprensione di quelli che sono i meccanismi di aggregazione delle cellule edilizie è possibile ipotizzare con una buona approssimazione i differenti comportamenti meccanici che ne derivano¹¹.

Inoltre, la lettura alla scala dei tipi edilizi ha permesso di riconoscere i caratteri identitari tanto del singolo edificio come del tessuto, e del ruolo che questi hanno svolto nella costituzione dell'organismo urbano. Tramite questo riconoscimento sarà possibile tracciare i confini entro i quali praticare il restauro, valorizzando i caratteri che assicurino, alle varie scale, la coerente leggibilità formale, fruitiva-funzionale e strutturale.

7.3. Il rilievo del centro storico di Cave

Marco Canciani

I rilievi del centro storico di Cave, rappresentati attraverso delle elaborazioni grafiche alle varie scale (cfr. Par. 7.5) e che riguardano una porzione del tessuto edilizio compresa tra via della Pace, via della Concordia, via Roma e via Scalonì Bielli, hanno costituito un fondo documentale sul quale svolgere alcune analisi di sintesi, utili per il presente studio¹². In particolare, sono stati analizzati alla scala urbana, architettonica e costruttiva, alcuni elementi caratteristici del centro storico di Cave, quali i tracciati viari e gli spazi urbani, i tipi edilizi, le tecniche e i particolari costruttivi. Il quadro unitario consente di avere una visione complessiva del tessuto urbano e delle aree oggetto di studio, con alcuni approfondimenti sugli elementi che posseggono delle caratteristiche che potremmo definire come identitarie, tipiche di questo centro storico¹³.

Il tessuto urbano, come detto al precedente paragrafo, si conforma seguendo le pendici di uno sperone roccioso, con l'edificato che si dispone allineato secondo i percorsi matrice di via Concordia, via Piè di Palazzo, concentrici secondo le curve di livello in quota e attestati sull'antica porta Nord-Ovest d'ingresso al borgo, e secondo

¹¹ Il merito di aver approfondito questo aspetto va al lavoro di Antonino Giuffrè e dei suoi allievi per la redazione dei codici di pratica (Giuffrè, 1988, Giuffrè, 1993).

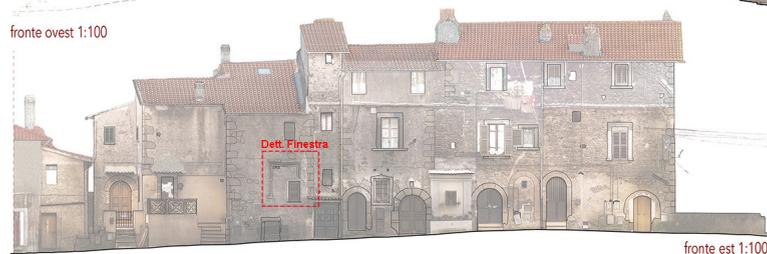
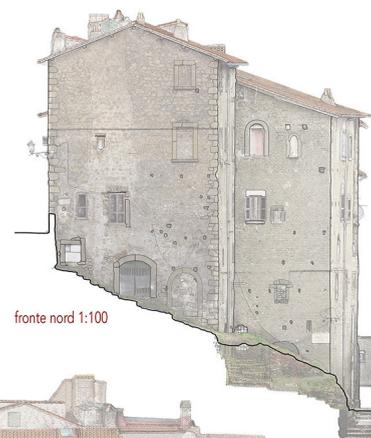
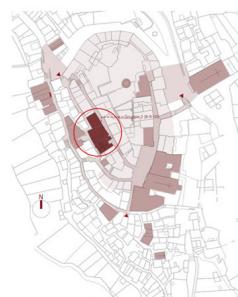
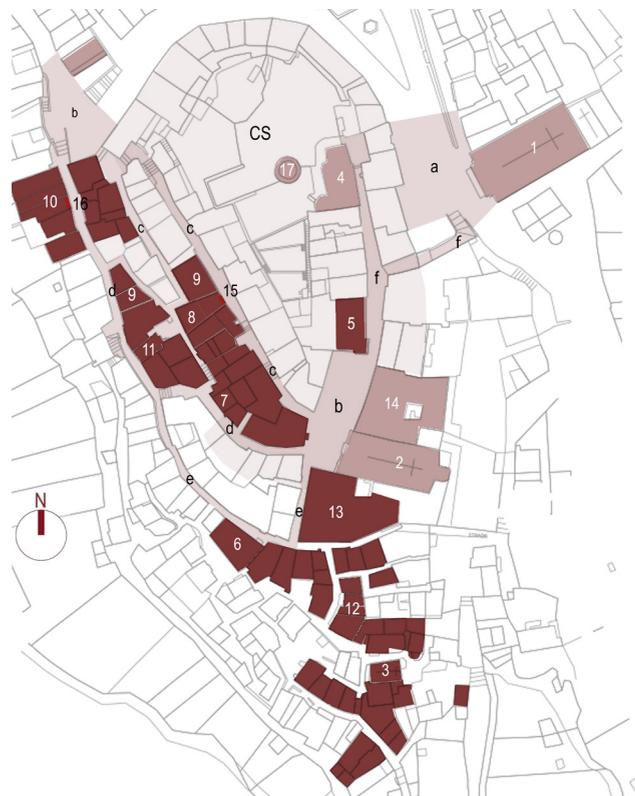
¹² Lo studio del centro storico di Cave si è avvalso, in parte, anche di una felice sperimentazione didattica svolta negli anni 2017-2018 e 2019-2020 al primo anno della Laurea Magistrale in Restauro, del Dipartimento di Architettura di Roma Tre, che ha previsto l'integrazione dei corsi - strutturati in più moduli - di: Strumenti per il progetto di restauro (prof. M. Canciani per il rilievo, prof. C. Falcolini per Matematica, curve e superfici, arch. M. Saccone per il GIS), Laboratorio di restauro urbano (prof. M. Zampilli per il restauro, prof. P. Ungari per Legislazione dei Beni Culturali, prof. A. Filpa per Urbanistica), Scienze delle costruzioni (prof. N. Rizzi). I risultati di questa proficua interazione tra didattica e ricerca sono stati in parte pubblicati in (Brunori, Magazzù, 2021).

¹³ Alcune di queste costituiscono le Strutture Urbane Minime (SUM) identitarie, meglio specificate di seguito al paragrafo 7.4.

Centro storico di Cave:

emergenze architettoniche, aree di studio e tipi edilizi ricorrenti:

1. Chiesa di S. Stefano; 2. Chiesa di S. Maria Assunta; 3. Chiesa di San Pietro; 4. Palazzo Colonna; 5. Palazzo Leoncelli; 6. Palazzo Zoppetti; 7. Casa Torre; 8. Casa Torre; 9. Case d'origine a schiera; 10. Case a schiera su pendio; 11. Casa con profferlo ortogonale al fronte; 12. Casa con profferlo parallelo al fronte; 13. Municipio; 14. Palazzo Mattei; 15. Dettaglio arch. finestra crociata; 16. Dettaglio arch. finestra crociata; 17. Torre medioevale castello; a. piazza Plebiscito; b. piazza G. Garibaldi; c. via Piè di Palazzo; d. via Concordia; e. via Scaloni Bielli; f. via del Fossato; CS. centro storico di origine medievale.



quelli disposti trasversalmente, sulla via del Fossato in corrispondenza della porta Est e sulla via Scaloni Bielli, lungo l'asse della porta Sud e l'antica via Francigena (Fig. 1).

Sui percorsi principali si attestano le emergenze architettoniche, quali le chiese di Santo Stefano (1), Santa Maria Assunta (2), e la più antica chiesa di San Pietro (3), i palazzi nobiliari Colonna (4), Leoncelli (5) e di rifusione Zoppetti (6) e vari tipi edilizi, di cui alcuni ricorrenti: le case a schiera su più livelli, che derivano dalle trasformazioni subite nel tempo delle originarie case a schiera con passo costante di 5-6 metri sul fronte, il tetto a capanna e su due livelli, di cui rimangono alcune tracce, le case a schiera su pendio (10), con i fronti di altezze variabili, le case "torre" (7-8); le case con profferlo (11-12). Si è lavorato per produrre una serie di elaborati grafici che riportano, secondo le consuete rappresentazioni ortogonali, alcuni schizzi e viste assonometriche, che vanno da una scala 1:100 fino a quella di dettaglio 1:10/1:5, il rilievo di alcune porzioni del tessuto urbano, di alcuni edifici e dettagli architettonici con una graficizzazione che permette di apprezzare in una sintesi codificata, ma allo stesso tempo espressiva, le caratteristiche alle varie scale di particolari spazi urbani, delle sezioni viarie e dei fronti stradali, dell'andamento delle coperture, delle diverse tipologie edilizie, degli spartiti delle facciate, delle caratteristiche costruttive principali e dei dettagli architettonici di pregio, nonché degli elementi di dissesto o di degrado. Ogni elaborato ha una tematica ben precisa che costituisce, di per sé, un importante elemento di confronto e d'indagine, a supporto delle analisi da svolgere, anche quando non sia possibile effettuarle direttamente a causa, ad esempio, dell'inaccessibilità del sito dovuta al verificarsi di eventi non previsti¹⁴.

in alto, da sinistra

Fig. 1

Planimetria del Centro storico di Cave con l'indicazione delle emergenze architettoniche e dei tipi edilizi. (Cfr. Credits).

Fig. 2

Prospetti relativi all'isolato su via della Concordia, via Piè di Palazzo. Il riquadro si riferisce a un dettaglio della figura successiva. (Cfr. Credits).

¹⁴ Gli ultimi due anni del lavoro di ricerca, presentato in questo volume, hanno coinciso con il periodo di pandemia da Covid 19. I dati del rilievo 3D e gli elaborati grafici svolti prima del lockdown hanno consentito di avere comunque a disposizione una serie di dati utili al confronto interdisciplinare necessario al perseguimento degli obiettivi prefissati.

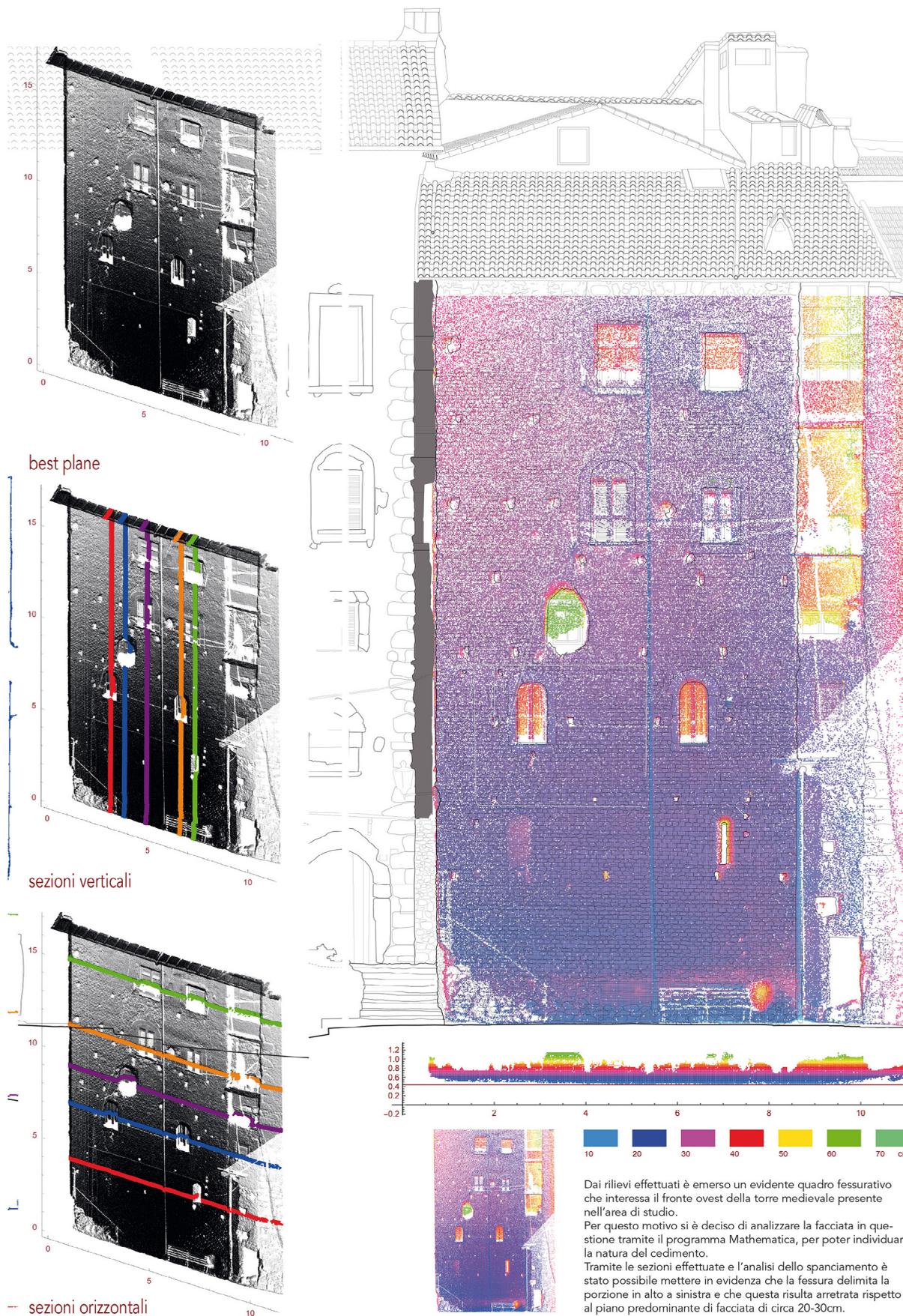


Fig. 4
 Analisi dello spanciamento della facciata dell'edificio "torre" attraverso lo scarto con un piano verticale di riferimento. (Cfr. Credits).

Dai rilievi effettuati è emerso un evidente quadro fessurativo che interessa il fronte ovest della torre medievale presente nell'area di studio.
 Per questo motivo si è deciso di analizzare la facciata in questione tramite il programma Mathematica, per poter individuare la natura del cedimento.
 Tramite le sezioni effettuate e l'analisi dello spanciamento è stato possibile mettere in evidenza che la fessura delimita la porzione in alto a sinistra e che questa risulta arretrata rispetto al piano predominante di facciata di circa 20-30cm.

7.3.1. Caratteri costruttivi dell'edilizia storica di Cave

Michele Zampilli

Nel centro storico di Cave (Fig. 1) si possono leggere tipologie murarie molto differenziate, in dipendenza dell'epoca di costruzione, ma sostanzialmente omogenee sotto l'aspetto percettivo delle cromie e dei materiali utilizzati.

Le tipologie murarie censite sono (Fig. 2):

1. murature di tufelli (blocchetti squadrati di dimensioni variabili 5-9 cm h x 16-30 cm l x 8-16 cm p) allettate con malta di calce e pozzolana riferibili alla fase medievale del costruito destinata a rimanere in vista;
2. murature in blocchi squadrati di tufo di dimensioni variabili riferibili ad una fase successiva, anch'esse destinate ad essere lasciate in vista;
3. murature di pezzame di tufo di dimensioni variabili allettate con malta di calce e pozzolana destinate ad essere intonacate o rifinite a "rasapietra". Si rilevano trattamenti superficiali intermedi e la presenza di elementi laterizi a chiudere i giunti più larghi. Appartengono alla fase post-medievale del costruito storico;
4. murature di pezzame di tufo intonacate con malta fine di calce e pozzolana e tinteggiate a calce. Spesso la tinteggiatura è stata dilavata leggendosi lo strato di supporto alla tinteggiatura. Si rilevano in case e palazzetti di rifusione o di nuovo impianto di epoca moderna (XVI-XVIII);
5. murature di mattoni. Riguardano gli interventi di consolidamento o di ripristino post-bellici e si rilevano nei cantonali, nelle riprese a scuci e cuci, talvolta come ricorsi di nuove murature in tufo.

Tutte le murature, di norma, hanno un paramento esterno realizzato con elementi di dimensioni maggiori ed un nucleo costituito da pezzi più piccoli. La presenza di elementi posti di punta (diatoni) e la buona consistenza della malta costituita da un impasto di calce e pozzolana, conferiscono alle murature una discreta qualità riscontrabile anche nello stato di conservazione del costruito nella parte più antica dell'insediamento. Il fatto che vi siano stati molti crolli nella parte bassa Sud-Est, ed edifici consolidati o parzialmente ricostruiti, è principalmente dovuto ai danni bellici.

Gli elementi lapidei che incorniciano finestre e portali sono generalmente di peperino e di tufo di consistenza variabile e cromie che vanno dal grigio scuro al grigio/verde del peperino, e dal terra d'ombra giallo/grigio del tufo.

Nel centro storico di Cave si rilevano numerosi presidi di prevenzione sismica premoderni o interventi di consolidamento post-sisma, conseguenza di eventi storici che hanno procurato danni abbastanza rilevanti.

Si rilevano infatti (Fig. 3):

- archi di sbadacchio in tufo e in laterizio all'interno dei vicoli a puntellare le pareti che vi si affacciano;
- speroni in tufo o laterizio;
- capochiavi di incatenamenti metallici di diversa fattura ed epoca costruttiva: dai più antichi a bolzone e paletto, a quelli più recenti con capochiave a piastra o profilati a C serrati con dado;
- finiture superficiali (Fig. 4).

Fig. 1
Cave, edifici del centro storico.



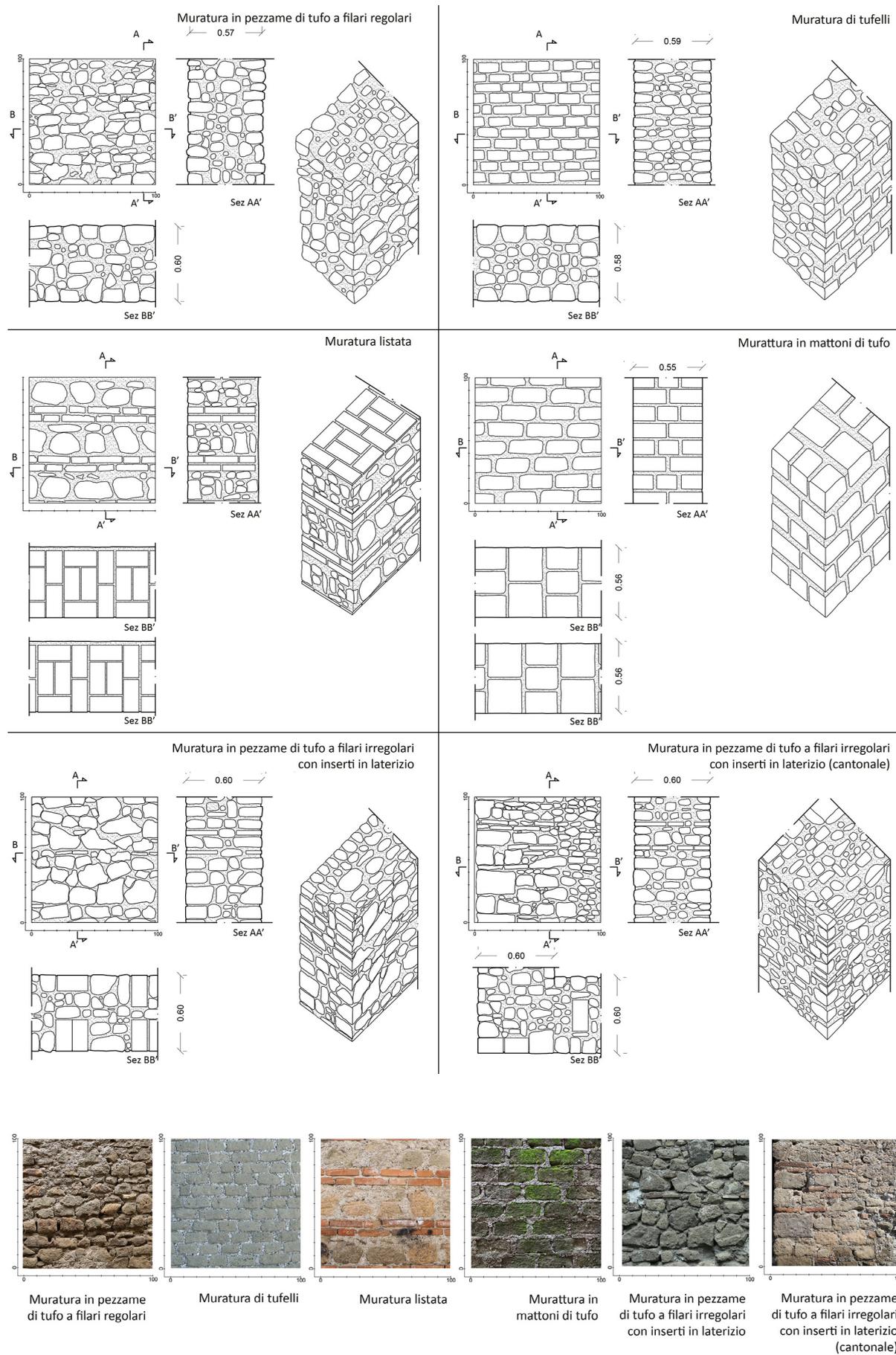


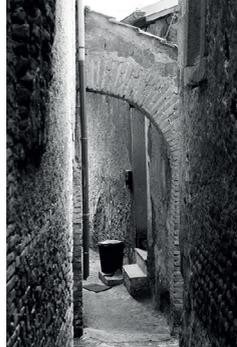
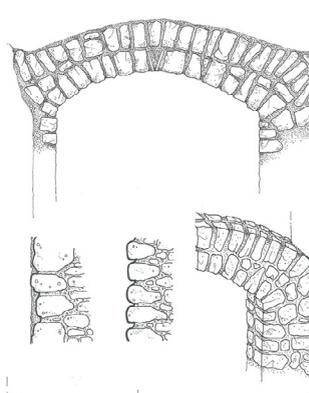
Fig. 2
 Sopra: Abaco in pianta, sezione, prospetto e spaccato assonometrico dei tipi costruttivi ricorrenti nel centro storico di Cave.
 Sotto: Abaco fotografico dei tipi costruttivi ricorrenti. (Cfr. Credits).

Fig. 3

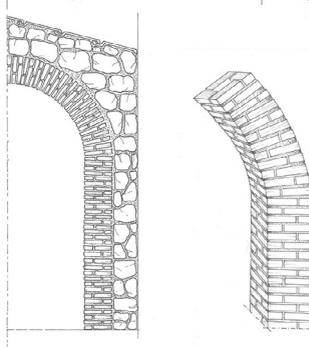
Rilievo grafico e fotografico dei presidi di prevenzione sismica presenti nel centro storico di Cave.
(Cfr. Credits).



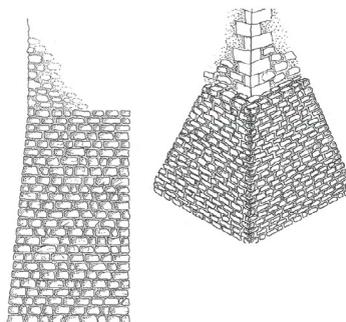
1. Arco di sbatacchio in tufo



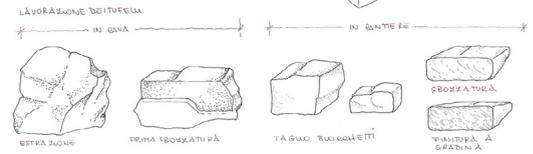
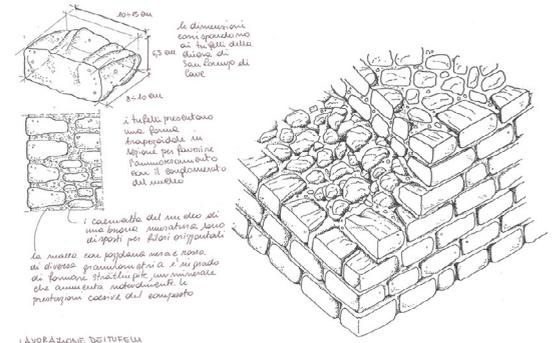
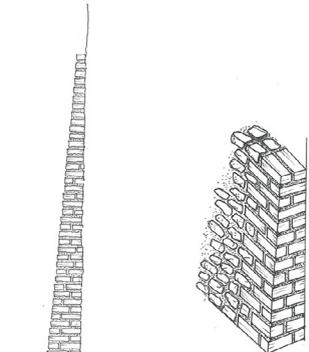
2. Arco di sbatacchio in laterizio



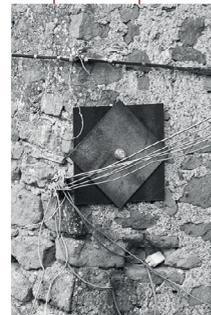
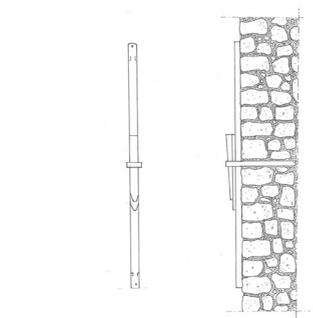
3. Sperone in tufo



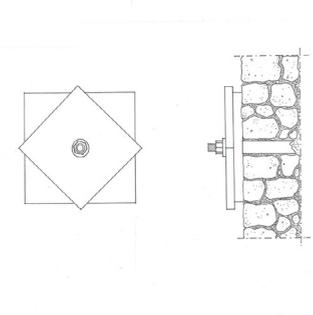
4. Sperone in laterizio



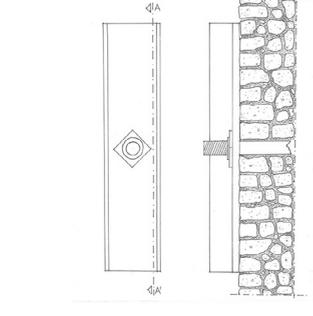
5. Capochiave tipo a



6. Capochiave tipo b



7. Capochiave tipo c



COLORITURE E TINTEGGIATURE

TAVOLOZZA PARETI MURARIE

Polveri di travertino e pozzolana



Terre naturali, polvere di cotto e grassello di calce



TAVOLOZZA ELEMENTI IN FERRO



TAVOLOZZA ELEMENTI IN LEGNO



Fig. 4

Sopra: abaco fotografico delle coloriture e tinteggiature. Sotto: rilievo grafico e fotografico di portali e finestre. (Cfr. Credits).

PARTICOLARI ARCHITETTONICI E DECORAZIONI PLASTICHE

CAMPIONARIO CORNICI PORTONI



CAMPIONARIO CORNICI FINESTRE



7.4. L'individuazione delle SUM di Cave
Elisabetta Tortora

Come più ampiamente detto nel paragrafo 2.4, la Struttura Urbana Minima è un sistema di elementi lineari e puntuali del tessuto urbano, ritenuti strategici per il mantenimento della funzionalità e della vitalità di una città e del suo sistema territoriale di riferimento. È la struttura minima resistente necessaria alla conservazione dei caratteri identitari in caso di emergenza, che consente, inoltre, l'avvio della ripresa delle attività urbane ordinarie, economico-sociali e di relazione nella fase successiva all'evento sismico.

Per gli obiettivi della presente ricerca, l'individuazione delle SUM è stata dirimente per individuare le priorità di intervento (si veda il Par. 5.9). L'analisi per l'individuazione della SUM del centro urbano di Cave è iniziata

Fig. 1
La SUM, sintesi della
Struttura Urbana
Minima Funzionale e
di quella Identitaria.



con la consultazione degli elaborati grafici redatti per il Piano di Emergenza Comunale (2019), che individuano i rischi a cui è soggetto il territorio comunale e indicano le aree e le strutture strategiche che rientrano nella SUM Funzionale. Nel settore del centro storico, alcune piazze e il parcheggio dell'ex-stazione sono stati selezionati come aree strategiche in quanto permettono l'assembramento in fase di attesa o di prima accoglienza; sono i luoghi in cui si svolge la vita collettiva cittadina e vanno preservati mettendo in sicurezza i volumi che ne definiscono gli spazi. La sede del Municipio, scuole primarie e secondarie, farmacie, strutture sanitarie e uffici di comando di polizia e carabinieri sono stati indicati tra gli edifici strategici, strutture che possono offrire spazi di prima accoglienza e che hanno un ruolo fondamentale per il mantenimento della funzionalità del centro urbano in caso di emergenza. Le aree e gli edifici strategici devono poter essere raggiunti in sicurezza, attraverso un sistema della mobilità autonomo, costituito da alcune strade locali, che si innestano lungo la strada regionale SR155, Prenestina Nuova, principale collegamento tra il centro urbano di Cave e il sistema territoriale circostante.

Sulla base del lavoro di analisi del tessuto edilizio e dei dati emersi dal rilievo, come descritti ai paragrafi precedenti, sono stati individuati tutti gli elementi che appartengono alla SUM Identitaria considerati imprescindibili per la conservazione dei caratteri e della vitalità del paese, ovvero gli edifici di pregio storico-architettonico e gli spazi urbani di relazione, importanti per la comunità, che insieme formano lo scheletro dell'insediamento. Lo studio di fonti bibliografiche, iconografiche e cartografiche ha portato all'individuazione di edifici di rilevante interesse identitario, che appartengono o rimandano a strutture importanti nel processo evolutivo del tessuto urbano di Cave.

È stato evidenziato come in origine il centro storico presentasse un serrato tessuto urbano, tipico degli insediamenti fortificati di promontorio, che nei secoli X e XI costellavano il territorio della Campagna Romana.

Le prime case vennero costruite addossate internamente al perimetro delle mura medievali, caratterizzato dalla presenza di torri difensive. Una volta cessata la funzione protettiva, l'abitato iniziò ad estendersi fuori dalla cinta muraria e le torri, che anche nelle cartografie storiche erano il simbolo di Cave come città turrita, vennero usate come residenze dotandole di nuove aperture e allargando le strette feritoie preesistenti. Durante la fase di rilievo e di schedatura del centro storico sono stati individuati alcuni esempi della tipologia della casa torre, come ad esempio quella su via dell'Indipendenza e quella su via dei Coralli, che ancora oggi con la loro notevole altezza di circa 5/6 piani, con una muratura a vista in tufelli ben apparecchiati e una scatola muraria indipendente, richiamano l'aspetto che doveva avere l'antico perimetro difensivo.

La presenza nel centro storico di palazzi nobiliari cinquecenteschi e di numerosi edifici di culto, come esplicitato nei paragrafi precedenti, testimoniano l'importanza attribuita alla città nel XVI secolo, quando venne scelta per firmare il Trattato conosciuto come "Pace di Cave", evento rimasto fortemente impresso nella memoria collettiva della comunità, che annualmente organizza una manifestazione per la sua rievocazione storica.

La SUM è il risultato della sintesi tra la Struttura Urbana Minima Funzionale e la Struttura Urbana Minima Identitaria (Fig. 1). Gli elementi che la compongono, dato il loro ruolo nel garantire la funzionalità e la ripresa delle attività nel centro urbano, sono valutati come particolarmente vulnerabili e devono essere preservati da danni gravi.

7.5. La schedatura Mauro Saccone

Come già ricordato, alla base di questo lavoro vi è una grande operazione di conoscenza del territorio comunale, che passa per l'acquisizione di informazioni che dovranno essere sistematizzate nel GIS, al fine di poter elaborare mappe del rischio e priorità di intervento. Acquisire informazioni, quando lo strumento da utilizzare è il GIS, si traduce nella creazione di uno o più database, capaci di raccogliere dati, per metterli in relazione alle porzioni di territorio interessate. La struttura dei database riflette le singolarità delle analisi condotte e si realizza attraverso una raccolta dati capillare, eseguita con tutti i mezzi disponibili, a partire da schede preparate *ad hoc* che guidano gli operatori nella ricerca delle informazioni più importanti (cfr. Par. 3.8).

Fig. 1
Scheda tipo di raccolta dati. Per ogni edificio del centro storico di Cave sono state raccolte informazioni come quelle contenute in questa scheda tipo.

SCHEDA DI RILEVAMENTO pag. 9 GRUPPO:.....		N.PARTICELLA CATASTALE (1):.....		EDIFICIO (2):.....	
<p>TIPOLOGIA EDILIZIA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipi edilizi (7): <ul style="list-style-type: none"> - casa di origine medievale <input type="checkbox"/> MED - casa a schiera rinascimentale monofamiliare <input type="checkbox"/> RIN - casa a schiera plurifamiliare <input type="checkbox"/> SCHIERA_PLU - palazzo-palazzetto <input type="checkbox"/> PAL - casa d'affitto del XVII-XVIII sec. <input type="checkbox"/> AFF_XVII - casa in linea del XIX sec. <input type="checkbox"/> LINEA_XIX - edificio a blocco del XIX sec. <input type="checkbox"/> BLOCCO_XIX • Epoca di costruzione (8): <ul style="list-style-type: none"> - data o epoca documentata () - data o epoca per confronto tipologico () - altro: • Caratteri funzionali attuali (10): <ul style="list-style-type: none"> - unità monofamiliare <input type="checkbox"/> MONO - unità plurifamiliare <input type="checkbox"/> PLURI - unità specialistica non residenziale <input type="checkbox"/> SPEC - destinazione d'uso del piano terra <input type="checkbox"/> PT - specificare: • Caratteri dimensionali attuali: <ul style="list-style-type: none"> - piani fuori terra (1-1) - piani interrati (1-1) - appalti (1-1) - informazioni particolari (1-3) - note (1-1) 	<p>STRUTTURA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strutture verticali (15): <ul style="list-style-type: none"> - tufelli <input type="checkbox"/> TUFO - in pezzame di tufo <input type="checkbox"/> P_TUFO - in laterizi <input type="checkbox"/> LAT - mista tufo-laterizio <input type="checkbox"/> MTL - in laterizi industriali tipo UNI <input type="checkbox"/> UNI - intelaiate in c.a. <input type="checkbox"/> CA - altro: • Strutture orizzontali (16): <ul style="list-style-type: none"> - volte in muratura <input type="checkbox"/> VM - solai in legno <input type="checkbox"/> SL - solaio in ferro o c.a. <input type="checkbox"/> SFCA - altro: • Scale (17): <ul style="list-style-type: none"> - scala interna in legno a una rampa <input type="checkbox"/> L1R - scala ad anima di muro a doppia rampa <input type="checkbox"/> ANZR - scala a pozzo <input type="checkbox"/> POZZO - scala alla romana <input type="checkbox"/> ROM - ascensore <input type="checkbox"/> ASC - altro: 	<p>FINITURE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Paramenti (18): <ul style="list-style-type: none"> - intonaco tinteggiato <input type="checkbox"/> TIN - muratura in vista <input type="checkbox"/> MUR_VIS - paramento lapideo <input type="checkbox"/> PIET - altro: • Cornici ed elementi architettonici (19): <ul style="list-style-type: none"> - in pietra <input type="checkbox"/> PIET - in intonaco <input type="checkbox"/> INT - altro: • Serramenti esterni (20): <ul style="list-style-type: none"> - originali o recenti con disegno tradizionale <input type="checkbox"/> TRAD - recenti incongrui <input type="checkbox"/> INC • Elementi di rilievo architettonico (22): <ul style="list-style-type: none"> - specificare: 	<p>COPERTURA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo di copertura (23): <ul style="list-style-type: none"> - a una falda <input type="checkbox"/> 1F - a due falde <input type="checkbox"/> 2F - a padiglione <input type="checkbox"/> PAD - a terrazzo <input type="checkbox"/> TER - altro: • Struttura del tetto (24): <ul style="list-style-type: none"> - tradizionale in legno <input type="checkbox"/> TRAD_L - in latero-cemento <input type="checkbox"/> LAT_CEM - in ferro <input type="checkbox"/> FERRO - altro: • Manto di copertura (25): <ul style="list-style-type: none"> - in coppi ed embrici di fattura tradizionale <input type="checkbox"/> COP_EMB - in tegole marsigliesi o canadesi di argilla <input type="checkbox"/> TEG_MAR - in tegole di cemento <input type="checkbox"/> TEG_CEM - a terrazzo <input type="checkbox"/> TER - altro: 	<p>DEGRADO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degrado strutturale: <ul style="list-style-type: none"> - PRECARIO <input type="checkbox"/> 1 - DISCRETO <input type="checkbox"/> 2 - BUONO <input type="checkbox"/> 3 • Degrado superficiale (32): <ul style="list-style-type: none"> - elementi in pietra rimaneggiati o sostituiti <input type="checkbox"/> PIET - intonaci ammalorati <input type="checkbox"/> INT_AMM - intonaci cementizi o non tradizionali <input type="checkbox"/> INT_CEM - tinteggiature non adeguate per materiale e/o colore <input type="checkbox"/> TINT - serramenti degradati o incongrui <input type="checkbox"/> SERR - elementi tecnologici invasivi <input type="checkbox"/> TECN • Degrado volumetrico (33): <ul style="list-style-type: none"> - sopraelevazioni non integrate <input type="checkbox"/> SOP_NON_INT 	

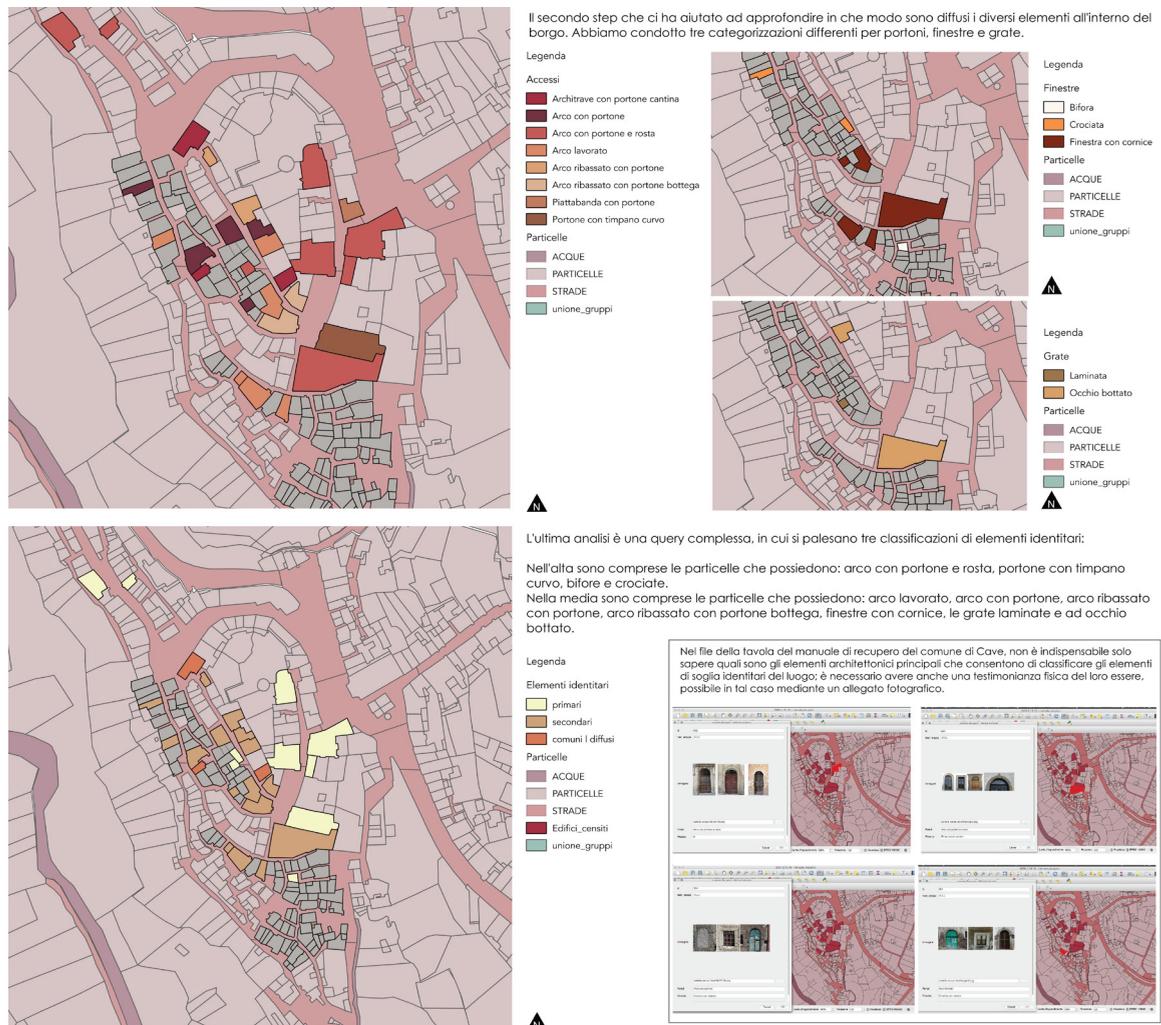
Le realizzazione delle schede di raccolta dati rappresenta pertanto uno dei passaggi fondamentali nel quale occorre definire il taglio delle analisi da condurre, stabilire l'unità minima di raccolta dati (l'isolato, l'agglomerato o la singola unità edilizia), valutare le specificità del luogo per adattare l'impianto di base della scheda ad ogni comune esaminato.

Le schede rappresentano lo strumento attraverso il quale le complessità del territorio vengono tradotte in codici alfanumerici, numeri e dati processabili in un GIS. Ogni scheda contiene in sé i dati specifici caratteristici di quel bene, organizzati in modo da poter essere raccolti seguendo un costante *fil rouge* che accompagna l'operatore nella difficile operazione di sintesi e interpretazione della realtà.

La scheda proposta per l'analisi del Comune di Cave ha come unità minima di raccolta delle informazioni, l'edificio. A prescindere dalla conformazione dell'aggregato e delle divisioni in particelle catastali, l'edificio rappresenta la base attraverso la quale raccogliere i dati necessari all'interpretazione del costruito (Fig 1).

La scheda ospita una sezione dedicata alla raccolta di informazioni che, oltre al tipo edilizio, raccoglie anche dati dimensionali come il numero di piani fuori terra, sopraelevazioni o piani interrati e corpi accessori. Tra le informazioni raccolte, di particolare importanza vi è la destinazione d'uso prevalente dell'edificio distinta dalla destinazione d'uso per il piano terra dello stesso. Ciò consente di valutare le attività che si svolgono al piano terra o seminterrato degli edifici mettendo in luce possibili problematiche legate alle emissioni del gas radon. Una sezione specifica per le analisi strutturali consente di indicare la tipologia di struttura, particolarmente importante per la classificazione della vulnerabilità sismica. Altri dati, già citati nel paragrafo 2.2.3, rappresentano la base delle Schede conoscitive, e vengono utilizzati principalmente per il restauro urbano. La conoscenza dello stato di conservazione degli intonaci o la presenza di elementi architettonici caratteristici del luogo, come ad esempio cornici e modanature lapidee, viene registrata nelle schede e riportata nel GIS al fine di tracciare mappe della qualità architettonica dei luoghi o rappresentare lo stato di conservazione di interi settori urbani, identificando aree o porzioni di territorio che necessitano interventi di restauro diffusi.

Fig. 2
GIS del centro storico di Cave. Mappatura degli elementi architettonici caratteristici del centro storico e relativa schedatura degli stessi con immagini di riferimento.



7.6. I rischi ambientali nel territorio di Cave, alcune indagini

7.6.1. La nuova carta geologica e delle MOPS

Domenico Cosentino, Valentina Gambetti

Nell'ambito di questo progetto, è stato elaborato un nuovo modello geologico del sottosuolo per il territorio comunale di Cave (RM). Il modello geologico del sottosuolo è stato ottenuto integrando i dati preesistenti, derivati dai precedenti studi di Microzonazione Sismica che l'Ufficio Tecnico del Comune di Cave ha messo a disposizione di questo progetto, con un nuovo rilevamento geologico del territorio comunale, condotto alla scala 1:5000 (Fig. 1). Il lavoro di terreno è stato supportato da documenti cartografici originali prodotti per la redazione del Foglio 375 – Tivoli del progetto CARG (ISPRA), da una campagna di 16 nuove misure HVSR e dalla reinterpretazione dei numerosi sondaggi geognostici già presenti sul territorio comunale di Cave.

La ricostruzione del substrato sismico (calcarei del Cretacico superiore) ha mostrato un andamento relativamente regolare, con un generale approfondimento verso S-SE dell'interfaccia tra rocce del substrato carbonatico e delle coperture quaternarie. Fatta eccezione per il settore nord, il substrato sismico si trova sempre a profondità elevate (ca. 100 m dal piano campagna) ed è ricoperto dalle sabbie, dalle argille e dalle ghiaie dell'Unità di Torre Baccelli (Pleistocene inferiore) e dalle vulcaniti del Vulcano Laziale (Pleistocene medio).

Nell'ambito di questo progetto, è stata proposta una nuova carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), per una Microzonazione Sismica di primo livello (Fig. 2). Una delle novità della carta delle MOPS proposta è la presenza di due famiglie di faglie normali, una con direzione NE-SO e l'altra circa E-O. Queste faglie, che sono state identificate tramite la correlazione di sondaggi geognostici, non sono presenti in letteratura e sembrano tagliare le vulcaniti. Pertanto, in conformità con i criteri per la Microzonazione Sismica del DPC, questa famiglia di faglie può essere indicata come potenzialmente attiva e capace. Tali faglie dovranno essere investigate più approfonditamente nel momento in cui verrà effettuato uno studio di Microzonazione Sismica di livello superiore (Livello 2 e 3), mediante ulteriori indagini geofisiche ed eventualmente trincee paleosismologiche.

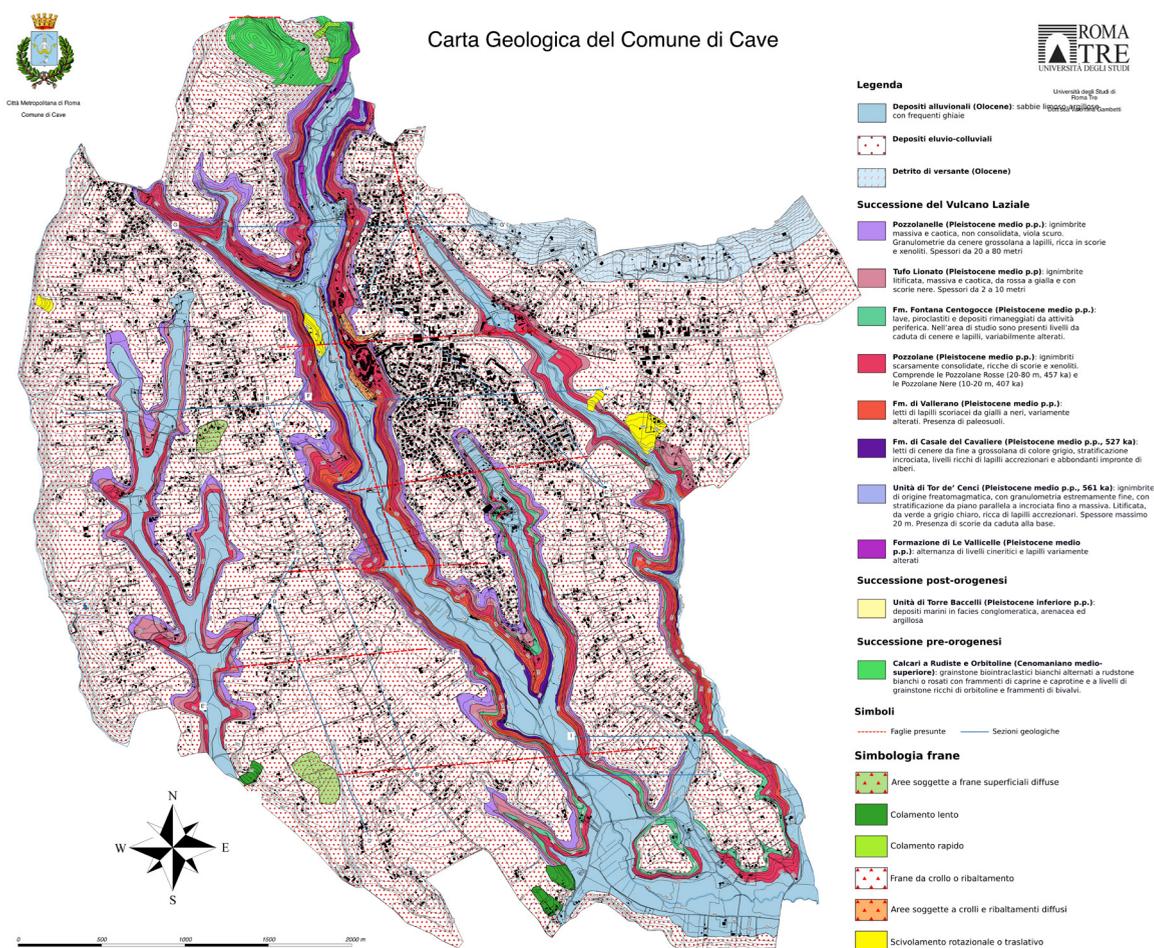
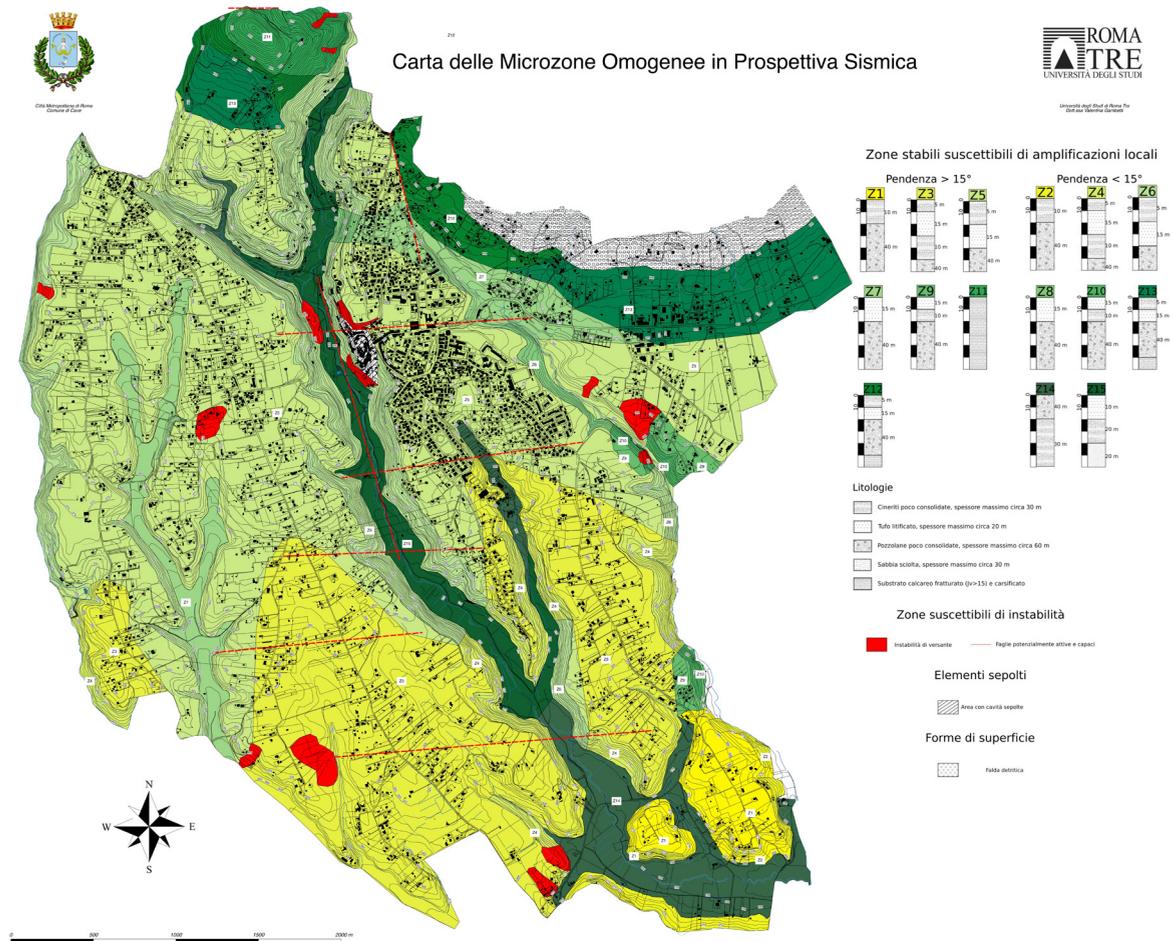


Fig. 1
Carta geologica del territorio comunale di Cave.

Fig. 2
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica del territorio comunale di Cave.



Un'altra caratteristica emersa dalla realizzazione della carta delle MOPS, a cui si dovrebbe prestare particolare attenzione in caso di studi di maggior dettaglio sugli effetti di sito per il rischio sismico, è la presenza di cavità sotterranee.

In futuro, per un ulteriore miglioramento nella definizione del modello geologico del sottosuolo del Comune di Cave, sarebbe opportuno effettuare nuove indagini geofisiche, aggiungendo prove di tipo MASW per poter vincolare meglio l'andamento in profondità delle velocità delle onde di taglio (Vs).

7.6.2. La valutazione del rischio sismico (qualitativo) a Cave

Martina D'Aversa

La pericolosità sismica viene desunta dalla classificazione sismica adottata dalla Regione Lazio, la quale ha classificato il territorio regionale in zone a pericolosità decrescente (zona 1, 2 e 3), e ha introdotto le sottozone A e B, per adattare meglio le norme alle caratteristiche di sismicità locali (cfr. Fig. 3, Par. 5.3). Sulla base di questa classificazione si sono associati degli indici numerici a queste zone che vanno da 4 (pericolosità alta) ad 1 (pericolosità bassa).

Il Comune di Cave risulta ricadere nella zona 2B quindi nella classe di pericolosità medio-alta (Fig. 3).

La vulnerabilità sismica può essere valutata mediante l'applicazione di diversi metodi. Il metodo speditivo adottato implica che degli esperti attribuiscono ad ogni aggregato un indice di vulnerabilità e cioè un indice che dia una valutazione della qualità del sistema strutturale.

Sulla base di questa classificazione sono stati associati dei valori numerici alla tipologia strutturale presente sul territorio del Comune di Cave, indici che analogamente alla pericolosità sismica vanno da 4 (vulnerabilità alta) a 1 (vulnerabilità bassa).



Fig. 3
Comune di Cave. Mappa della pericolosità sismica ottenuta attraverso le elaborazioni GIS.

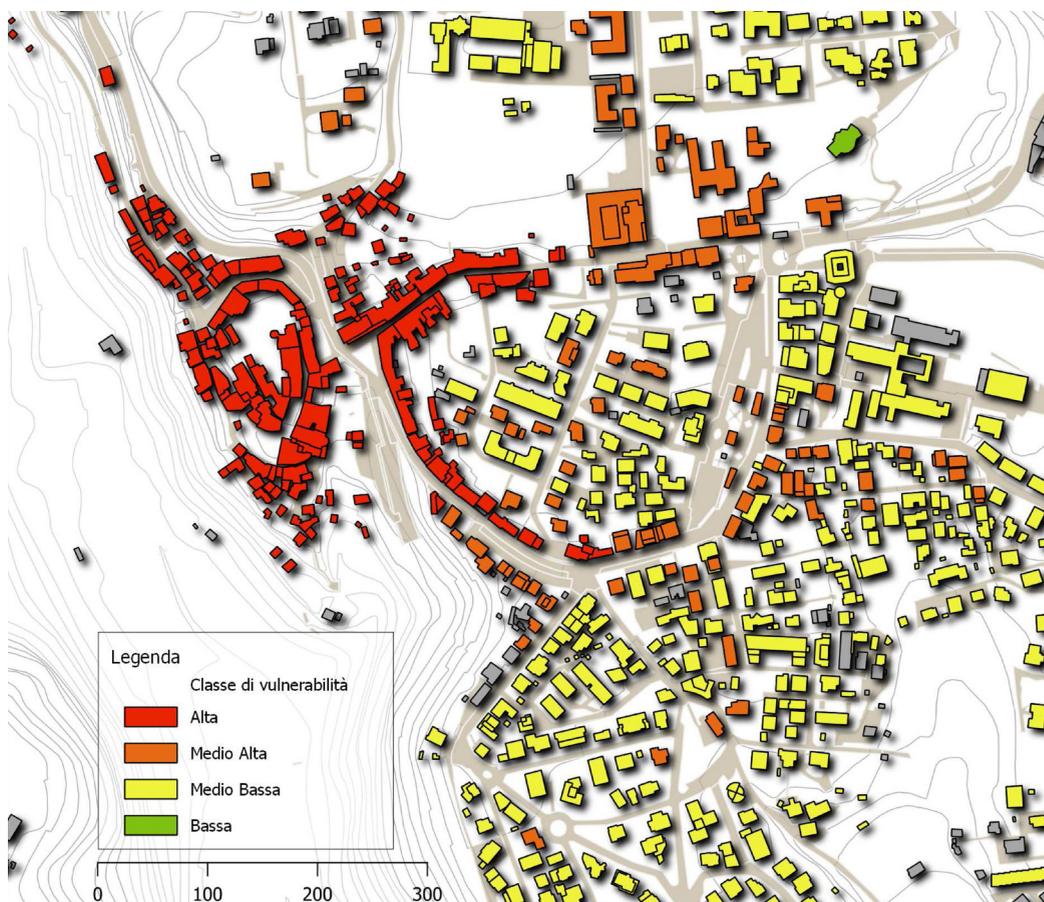


Fig. 4
La mappa della vulnerabilità sismica del Comune di Cave, desunta dal censimento speditivo.

A partire dalla CTR del Comune di Cave è stato eseguito un censimento speditivo, basato su uno studio visivo del sistema strutturale componente gli aggregati¹⁶ (Fig. 4). Sono state identificate innanzitutto le tipologie edilizie e si è osservato che il centro storico del paese, i cui edifici sono caratterizzati da muratura di scarsa qualità, ricade nella zona rossa, ossia nella classe di vulnerabilità alta. Dalla mappa si osserva che, tra gli edifici studiati, ben pochi sono quelli che ricadono nella classe di vulnerabilità bassa (valore 1 associato al colore verde) ossia nella classe che descrive bene gli edifici di nuova costruzione. La maggior parte dell'edificato di Cave risulta nella classe di vulnerabilità medio-bassa (valore 2 associato al colore giallo).

Sovrapponendo la mappa della pericolosità e la mappa della vulnerabilità si è determinata la mappa qualitativa del rischio sismico ($R=P \times V$). In questo caso, essendo costante la pericolosità sismica, la mappa qualitativa del rischio ricalca esattamente le classi della vulnerabilità.

L'applicazione di questa metodologia comporta che nei comuni in cui non vi siano zone di pericolosità sismica differenti (come, ad esempio, nel Comune di Roma), la mappa del rischio sismico coinciderà con quella della vulnerabilità sismica.

7.6.3. Valutazione speditiva della pericolosità da frana a Cave

Paola Molin

Progetto AVI - Archivio Frane

Ricerca per Comune

Seleziona il Comune

Nel Comune di **Cave** sono state censite 8 Frane

Regione	Provincia
Lazio	Roma

Numero	Località	Data	Ambiente fisiografico
2200180	Cave - Via della Ripa	//	Collina
2200282	Cave	//	Collina
10200298	Cave - Acquedotto del Simbrivio	27/12/1996	Collina
2200179	Sant'Antonio	//1987	Collina
2200178	Cave - Via Roma	//1986	Collina
200038	Cave	29/4/1978	Collina
200089	Cave	16/2/1947	Collina
4200076	Cave	11/11/1946	Collina

Fig. 5

Lista dei movimenti di versante ubicati nel territorio comunale di Cave secondo il progetto AVI (dal sito <http://avi.gndci.cnr.it/>).

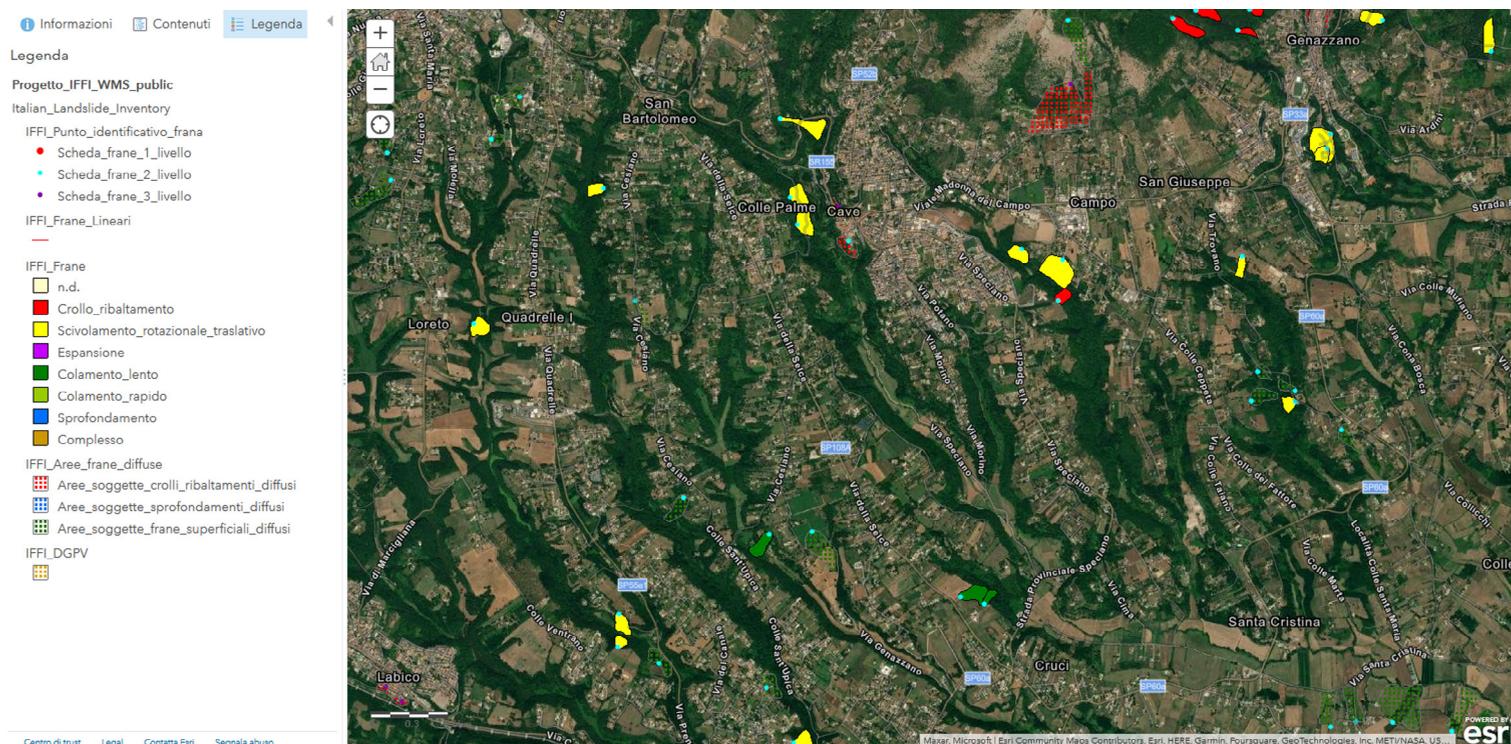
mente formate dall'incisione fluviale, ma attualmente tendono ad arretrare per degradazione e per frane da crollo e scorrimento.

Dove le pendenze sono più blande, sono presenti localmente morfologie tipiche dei soliflussi, movimenti di versante superficiali che interessano il regolite e il suolo.

In base alle osservazioni fatte, in una stima relativa della pericolosità, è possibile concludere che:

1. i fenomeni più frequenti sono scorrimenti rotazionali e crolli;
2. questi fenomeni interessano le scarpate nelle piroclastiti in modo abbastanza diffuso;
3. essi sembrano essere quiescenti; ma nell'archivio dell'AVI (Fig. 5) come anche nelle carte del Progetto IFFI (Fig. 6), sono riportate frane (tipologia: frane di crollo, frane a movimento complesso o ignota) nel XX secolo nel territorio di Cave, suggerendo che i tempi di ritorno possono essere relativamente brevi, probabilmente decennali;
4. sono fenomeni relativamente piccoli (massime dimensioni intorno ai 100 m di larghezza e di lunghezza), ma le velocità potrebbero essere da moderate (scorrimenti) e molto veloci (crolli);

¹⁶ Tale censimento si potrebbe eseguire anche senza la necessità di recarsi *in situ* ma utilizzando strumenti come la visita virtuale di Google Maps ove disponibile.



5. in generale sono fenomeni retrogressivi, ossia che tendono a interessare progressivamente il versante a monte della deformazione.

In generale, le scarpate in rocce piroclastiche generate dall'erosione fluviale sono suscettibili a fenomeni gravitativi o comunque di arretramento per degradazione. Queste delimitano gran parte del centro abitato di Cave e, nel resto del territorio comunque, alla loro sommità, sono presenti localmente abitazioni e vie di comunicazione. Questi rappresentano tutti elementi esposti che aumentano localmente il rischio.

La situazione di pericolosità e rischio descritta è in parte illustrata nella “Carta dello scenario di Rischio Idrogeologico e Geologico” del Comune di Cave dove gran parte delle scarpate sono classificate come aree a rischio R4 o comunque aree di alta attenzione per quanto riguarda il rischio idrogeologico. Alcune di queste sono inoltre classificate come zone suscettibili di instabilità (MOPS), evidenziando possibili attivazioni di fenomeni quiescenti in conseguenza al verificarsi di un sisma.

Gli interventi sulle pericolosità citate che si potrebbero utilizzare per mitigare il rischio all'interno del territorio comunale di Cave sono diversi in base al tipo di movimento di massa. Nel caso dei crolli, si potrebbe intervenire con ancoraggi, magari associati a reti paramassi, iniezioni e monitorando i fenomeni attraverso degli estensimetri. Per quanto riguarda gli scorrimenti rotazionali, al fine di migliorare la resistenza al taglio delle rocce coinvolte, si potrebbero prima di tutto allontanare le acque meteoriche e quelle di falda attraverso drenaggi sia superficiali sia profondi. In seguito, si può intervenire con vari tipi di opere di sostegno e/o con strutture di rinforzo interne come ancoraggi, chiodature, iniezioni. Anche in questo caso, sarebbe comunque utile il monitoraggio di questi fenomeni attraverso l'utilizzo di piezometri per la valutazione del livello della falda o degli inclinometri per il calcolo della velocità di movimento.

7.6.4. Valutazione qualitativa della pericolosità e della vulnerabilità da radon a Cave Paola Tuccimei, Michele Soligo

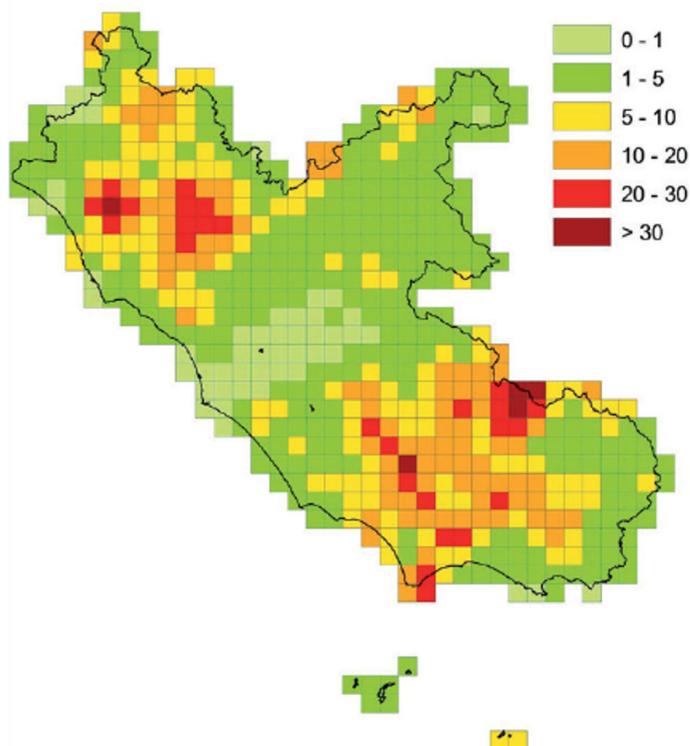
Come detto in precedenza, per determinare il rischio radon in una determinata località, è necessario effettuare dapprima studi di caratterizzazione, per la valutazione del rischio qualitativo ($R=P \times V$). Questa fase prevede una ricerca bibliografica approfondita sulla pericolosità e vulnerabilità da radon e su eventuali misure pregresse nelle aree d'indagine.

Per il Comune di Cave, sono stati acquisiti alcuni dati presenti in un report del 2013 curato da ARPA Lazio e ISPRA, intitolato “Il monitoraggio del gas radon nel Lazio” (ARPA Lazio, 2013). Il documento prende in considerazione 11 edifici nel Comune di Cave, dove le concentrazioni di radon indoor variano da 49 a 1124 Bq/m³. Il dato medio annuo è di 236 Bq/m³, con una deviazione standard di 327 Bq/m³. Queste misure dimostrano che in

Fig. 6
I movimenti di versante dell'area comprendente il Comune di Cave secondo il Progetto Iffi (https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?url=https%3A%2F%2Fsinaccloud.isprambiente.it%2Farcgisina%2Frest%2Fservices%2Fif-fi%2FProgetto_IFFI_WMS_public%2FMap-Server&source=sd).

Fig. 7

Mappa della percentuale di abitazioni eccedenti il livello di riferimento di 300 Bq m^{-3} nella regione Lazio, ai sensi del 2013/59/EURATOM (ARPA Lazio, 2013).



alcuni casi sono stati superati i limiti di 300 Bq/m^3 , indicati dalla recente direttiva europea 2013/59/EURATOM e dal D.Lgs. n. 101/2020, e che quindi andrebbero adottate soluzioni per mitigare il rischio. Il substrato geologico del paese di Cave dove affiorano soprattutto rocce di origine vulcanica, giustifica i dati a maggiore concentrazione di radon indoor (Fig. 7).

Rimanendo nell'ambito delle valutazioni speditive di tipo qualitativo, per il Comune di Cave sono disponibili informazioni sui materiali da costruzione. In particolare, si sottolinea come molti edifici siano costruiti con rocce vulcaniche (classe di pericolosità 3 o 4). Si riconoscono, tra le altre, due tipologie murarie contenenti tufo: la muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.), corrispondente al 71% degli edifici e la muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) che rappresenta l'11% del totale (Paolacci e D'Aversa, 2020). La presenza del tufo suggerisce un livello di attenzione alto per queste tipologie murarie e si consiglia di analizzarle e classificarle, nelle successive valutazioni del rischio legate agli interventi di mitigazione, seguendo il criterio proposto in Tabella 6 (par 3.6.4), in quanto i livelli di radon indoor superiori al riferimento di 300 Bq/m^3 stabilito dalla raccomandazione 2013/59/EURATOM sono sicuramente legati anche a questi materiali da costruzione. L'approfondimento dello studio sul Comune di Cave dovrà seguire le linee guida (cfr. Par. 3.6) per la caratterizzazione di dettaglio del territorio comunale al fine di quantificare e gestire il rischio radon associato.

7.6.5. Valutazione speditiva della pericolosità e della vulnerabilità idrologico/idraulica a Cave

Elena Volpi

Il Comune di Cave ricade nell'area di competenza dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale, essendo il suo territorio parte del bacino idrografico del Liri-Garigliano. In particolare il Comune di Cave è interessato dal sistema idrografico dei torrenti che affluiscono al Fiume Sacco in corrispondenza del centro abitato di Colferro. Essendo interessato solo dal reticolo secondario del F. Sacco, il Comune di Cave non appare nelle mappe di pericolosità e rischio redatte dall'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale.

Il centro abitato di Cave si trova su un versante a quote elevate rispetto a quelle di fondovalle dove scorrono i torrenti che formano il reticolo secondario del Fiume Sacco; pertanto il Comune non è interessato dalle esondazioni dei suddetti torrenti, nemmeno per tempi di ritorno molto elevati (scenario di pericolosità bassa, corrispondente ad un tempo di ritorno variabile fra 200 e 500 anni).

A titolo esemplificativo si riporta, a seguire, la mappatura della pericolosità idraulica sul reticolo secondario fino alla confluenza con il Fiume Sacco poco a valle di Colferro. La figura mostra esclusivamente le aree allagate con tempo di ritorno di 200 anni in prossimità del Comune di Cave, che non viene interessato in alcun modo

dall'inondazione come già preannunciato. La mappa in figura 8 è stata ottenuta applicando una procedura di stima idrologica-idraulica speditiva, denominata RESCUE e sviluppata da Pavesi *et al.* (2022). RESCUE fa uso esclusivamente dell'informazione statistica sulle precipitazioni intense a scala regionale fornita dal progetto VAPI (GNDCI, CNR 1994) e di un modello digitale del terreno alla risoluzione di 10x10 m.

Se si confronta la mappa in figura 8 con quelle prodotta dal Comune di Cave e riportante le condizioni di rischio "idrogeologico" dal Piano di Assetto Idrologico dell'Autorità di Distretto (Fig. 9), si possono notare le aree evidenziate come aree a rischio o di allerta speciale indotte invece dall'instabilità dei versanti e dal verificarsi di fenomeni franosi.

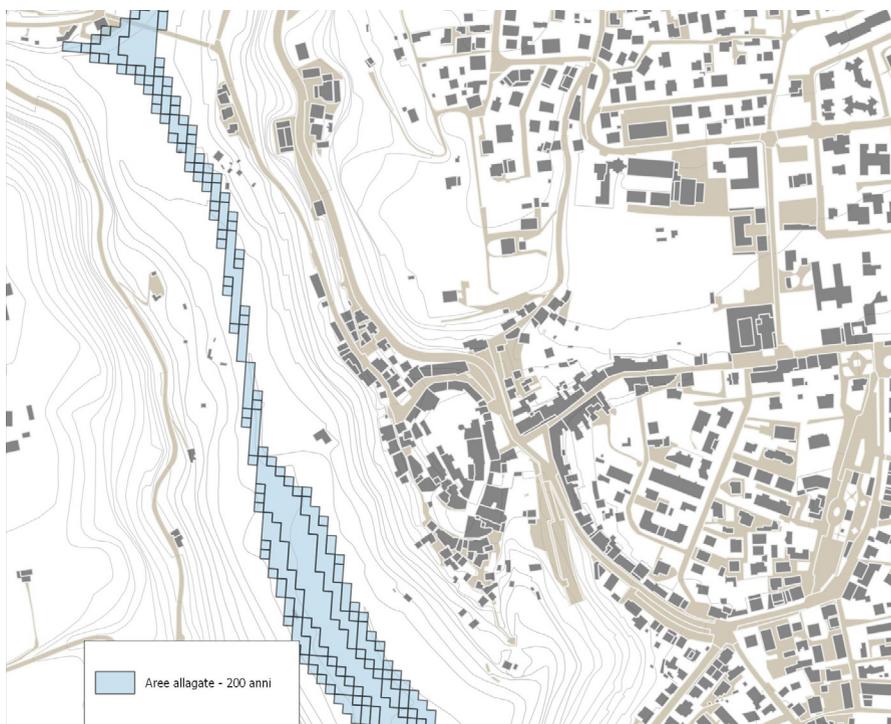


Fig. 8
Mappa della pericolosità idraulica, su reticolo secondario nel Comune di Cave.

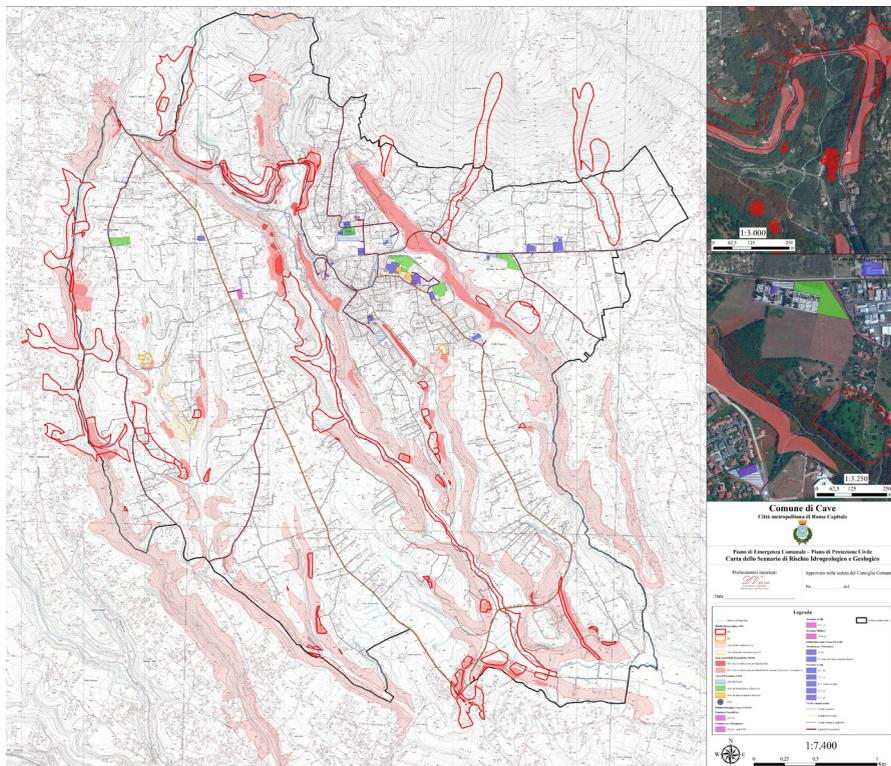


Fig. 9
Carta dello scenario di rischio idrogeologico e geologico del Comune di Cave.

7.6.6. Valutazione speditiva delle ondate di calore a Cave

Lucia Martincigh con Andrea Recine

Il contesto territoriale e il tessuto edilizio del Comune di Cave sono stati descritti all'inizio di questa parte della trattazione dedicata al caso di studio; in questo capitolo sono riportate le analisi fatte sulle caratteristiche climatiche del territorio e alcune ulteriori analisi svolte sul tessuto urbano, che servono a definire pericolosità e vulnerabilità, i due fattori coinvolti nel rischio correlato alle ondate di calore e al loro impatto negativo sul comfort ambientale e sulla salute della popolazione.

7.6.6.1. L'analisi della pericolosità

Per quanto riguarda la pericolosità, si è effettuato dapprima uno studio generale sui dati rilevati per la temperatura e l'umidità relativa, da inizio giugno fino alla fine di settembre, per capire il periodo che presentava i valori più alti poi, per le analisi più approfondite, ci si è concentrati sui dati raccolti per i mesi di luglio e agosto 2021. I dati sono stati forniti dal Sig. Roberto De Feo, che ha impiantato e gestisce sin dal 1993 l'Osservatorio Meteorologico e Sismologico di Cave (Roma); la stazione meteorologica, che rileva i dati giornalmente, in genere ogni 10', in pochi casi ogni 30', si avvale di una Davis Instruments Vantage Pro e una Davis Instruments Vue ed è posizionata in ambito urbano¹⁷. La stazione raccoglie moltissimi dati; il sistema di ricezione crea un file che viene poi elaborato dal sig. De Feo su formati Excel, con allegate note giornaliere (nuvole, percentuale di pioggia, evapotraspirazione, etc.), confronti, per esempio tra la temperatura attuale e la media della temperatura di 25 anni, e considerazioni in merito a situazioni particolari: periodi di onde di calore, radiazione solare e raggi UV; i dati sono inoltre corredati da immagini via satellite, ricevute ogni 5 minuti con strumentazione dedicata¹⁸. La lettura e l'elaborazione di questi dati ci ha permesso di identificare nei mesi più caldi, luglio e agosto, i valori significativi mensili ed in particolare, per l'argomento in oggetto, le temperature massime giornaliere e mensili, i giorni più caldi, il tasso massimo giornaliero di umidità relativa; va sottolineato che le temperature sono state misurate da un sensore ubicato nello schermo solare, quindi possono essere paragonate a temperature a bulbo asciutto.

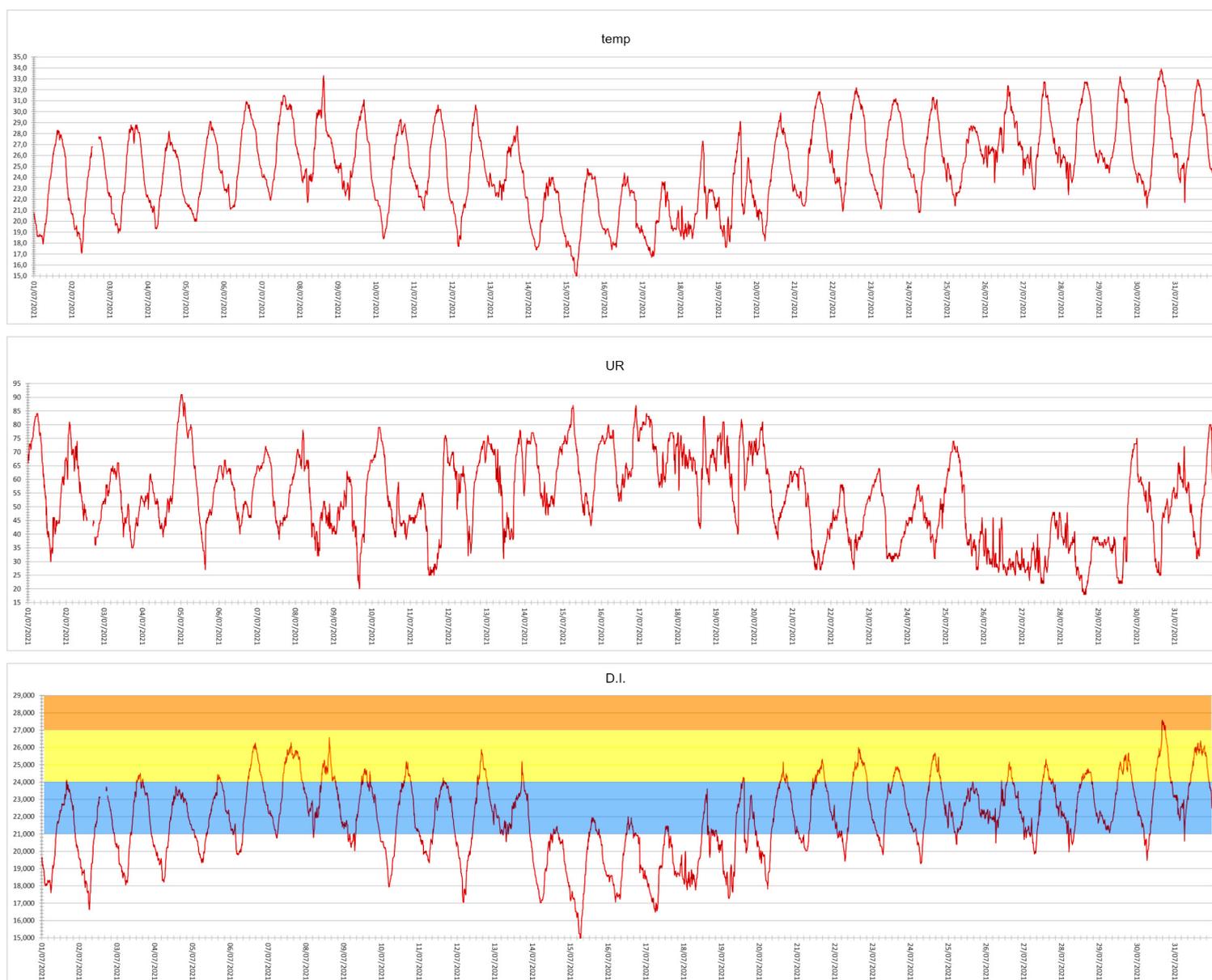
Come già spiegato nella descrizione della metodologia da utilizzare per definire la pericolosità, si è scelto di utilizzare il "Discomfort Index" di Thom per verificare la presenza e l'entità del disagio provocato dalle ondate di calore (cfr. Par. 3.8.2.1). Il primo passo quindi è stato impostare in un foglio Excel la formula semplificata, che utilizza i valori della temperatura (T°C) e le percentuali di umidità (UR) rilevate dalla stazione meteo ogni 10', al fine di calcolare automaticamente, sulla base di tale coppia di dati, l'indice di disagio puntuale (D.I.), in ogni intervallo temporale predeterminato, durante ogni singola giornata allo scopo di individuare i giorni più problematici e i livelli di pericolosità; questo calcolo è stato fatto per i mesi di luglio e agosto 2021. Come esemplificazione, si riporta uno stralcio di tale tabellazione, con alcuni intervalli orari che presentano indici di disagio diversi (Fig. 1). Nel file Excel che riporta i dati rilevati, oltre alle colonne relative al giorno e al tempo di rilevamento, ai dati della temperatura (T°C) e dell'umidità relativa (UR%), vi è una colonna che riporta il risultato del calcolo del Discomfort Index (D.I.); ogni casella di tale colonna è campita con un colore diverso che indica la classe di disagio; ogni classe è definita in funzione del superamento di specifiche soglie (le caselle senza campitura corrispondono alla situazione di benessere). Come già spiegato (cfr. Par. 3.8.2.1), per la valutazione da fare nel caso di studio si usa una classificazione in cinque fasce di disagio, a cui corrispondono valori crescenti da 1 a 5, quindi, pur facendo riferimento alla matrice ivi illustrata (Fig. 2 del Par. 3.8.2), i colori delle classi di disagio sono stati adattati.

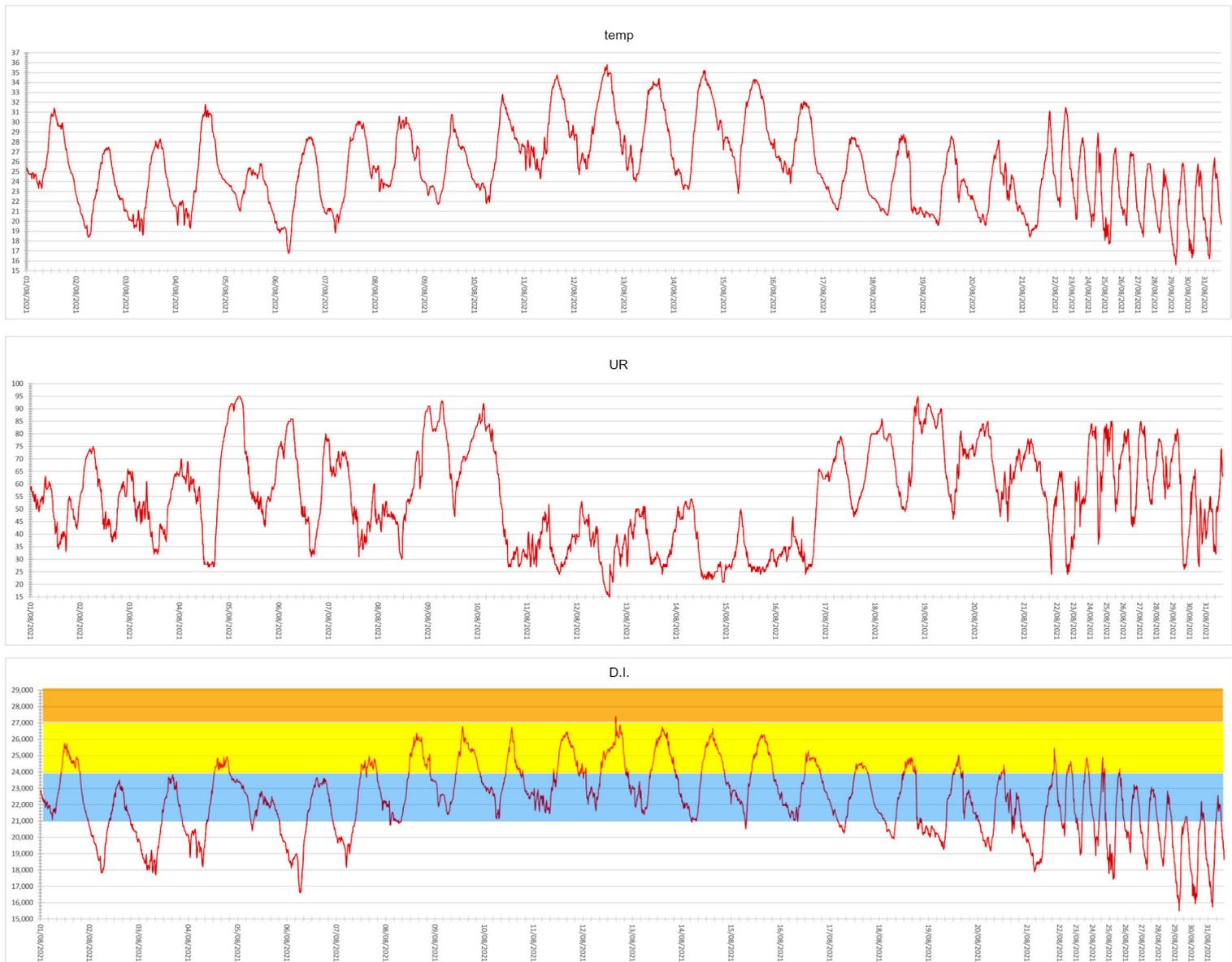
¹⁷ La collaborazione del Sig. De Feo è stata fondamentale per la raccolta dei dati e delle informazioni sulle condizioni climatiche di Cave. Lo ringraziamo per la disponibilità e la fattiva collaborazione dimostrata in occasione del nostro lavoro di ricerca.

¹⁸ I sensori registrano le misure di vari parametri con intervalli di campionamento di pochi secondi; i dati, analizzati e archiviati nell'intervallo di tempo, in genere, di 10', riguardano: la temperatura, media, massima e minima; l'umidità dell'aria, media, massima e minima; il punto di rugiada; il vento, velocità e direzione, media e massima; la densità dell'aria; la pressione atmosferica; le precipitazioni etc. I dati raccolti sono anche utilizzati per alcune elaborazioni, quali: indice di calore e indice di raffreddamento, indice THSW, wind run, etc. La ricezione delle immagini via satellite avviene con autorizzazione della EUMETSAT - European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites.

DATA	ORA	TEMP	UR	DI	SOGLIE	CLASSI DI DISAGIO
30/07/2021	00:00	23.7	74	22.38	D.I. < 21	Situazione di benessere (assenza di disagio)
	00:10	23.6	75	22.35		
	00:20	23.5	71	22.06	21 ≤ D.I. < 24	Meno della metà della popolazione prova disagio
	00:30	23.8	66	22.06		
	04:20	23.2	57	21.14	24 ≤ D.I. < 27	Più della metà della popolazione prova disagio
	04:30	22.7	56	20.72		
	04:40	22.6	55	20.60	27 ≤ D.I. < 29	La maggioranza della popolazione prova disagio e un deterioramento dello stato psico-fisico
	04:50	22.3	54	20.33		
	15:30	33.6	31	26.35	29 ≤ D.I. < 32	Tutta la popolazione prova un forte disagio
	15:40	33.4	33	26.44		
	15:50	33.6	42	27.51	D.I. ≥ 32	Stato di emergenza sanitaria per il disagio molto forte con elevato rischio di colpi di calore
	16:00	33.4	44	27.58		

Fig. 1
 Stralcio del foglio Excel mensile per il calcolo del Discomfort Index di Thom (D.I.), che esemplifica la presenza di 5 classi di disagio in diversi intervalli orari del 30 luglio 2021 (i colori sono quelli adottati dagli autori); il calcolo usa i dati rilevati dalla stazione meteo dell'Osservatorio Meteorologico e Sismologico (OMS) di Cave del Sig. Roberto De Feo.





nella pagina a fianco, in basso

Fig. 2

Grafici sull'andamento di: temperatura (T°C), umidità relativa (UR%), Discomfort Index di Thom (D.I.) e classi di disagio nel mese di luglio, elaborati in base ai dati rilevati dalla stazione meteo dell'OMS di Cave e al calcolo del D.I.

Fig. 3

Grafici, analoghi a quelli di Fig. 2, riferiti al mese di agosto.

Elaborando grafici mensili che illustrano l'andamento della temperatura (T°C), dell'umidità relativa (UR%) e del Discomfort Index di Thom (D.I.), e giustapponendoli, è possibile leggere la correlazione tra i fattori alla base del fenomeno e il disagio percepito dalle persone nei mesi di luglio e di agosto 2021 (Figg. 2 e 3). Il calcolo dell'indice di Thom, come già detto (cfr. Par. 3.8.2.1), permette di definire cinque classi di disagio che indicano la percentuale di persone che provano disagio e, in alcuni casi, anche il livello del disagio percepito e le conseguenze sulla salute. Facendo riferimento a queste cinque classi, si può notare che a Cave sono presenti la prima e la seconda classe ("Meno della metà della popolazione prova disagio" e "Più della metà della popolazione prova disagio") e, solo per pochi giorni e per poche ore, la terza classe ("La maggioranza della popolazione prova disagio e un deterioramento dello stato psico-fisico").

Analizzando la situazione nel mese di luglio 2021, con l'applicazione dell'indice di Thom si è verificato che, fortunatamente, in un solo giorno (30.7.2021), e solo per poche ore nel primo pomeriggio (dalle 15:40 alle 17:50), il D.I. è compreso tra 27 e 29, e quindi "La maggioranza della popolazione prova disagio e un deterioramento dello stato psico-fisico" per un breve lasso di tempo: 2h10' (Fig. 4). Analoga situazione si rileva nel mese di agosto 2021, sempre in un solo giorno (12.8.2021) e nel primo pomeriggio (dalle 15:50 alle 16:00), ma in questo caso solo per 10' (Fig. 5). La situazione quindi nei due mesi analizzati non sembra avere importanti ricadute sulla salute se non per due ore a luglio; se analizziamo però la percentuale di persone che non si trova in uno stato di benessere, a causa di uno scarso comfort termico, la situazione è molto diversa.

ora	temp	UR	DI
00:00	22,7	74	22,38
00:10	22,6	75	22,35
00:20	22,5	71	22,06
00:30	22,8	66	22,06
00:40	24,2	62	22,17
00:50	24,4	61	22,28
01:00	24,4	62	22,33
01:10	25,3	61	22,92
01:20	25,3	61	22,92
01:30	25,3	61	22,92
01:40	25,3	61	22,92
01:50	25,3	61	22,92
02:00	25,3	61	22,92
02:10	25,3	61	22,92
02:20	25,3	61	22,92
02:30	25,3	61	22,92
02:40	25,3	61	22,92
02:50	25,3	61	22,92
03:00	25,3	61	22,92
03:10	25,3	61	22,92
03:20	25,3	61	22,92
03:30	25,3	61	22,92
03:40	25,3	61	22,92
03:50	25,3	61	22,92
04:00	25,3	61	22,92
04:10	25,3	61	22,92
04:20	25,3	61	22,92
04:30	25,3	61	22,92
04:40	25,3	61	22,92
04:50	25,3	61	22,92
05:00	25,3	61	22,92
05:10	25,3	61	22,92
05:20	25,3	61	22,92
05:30	25,3	61	22,92
05:40	25,3	61	22,92
05:50	25,3	61	22,92
06:00	25,3	61	22,92
06:10	25,3	61	22,92
06:20	25,3	61	22,92
06:30	25,3	61	22,92
06:40	25,3	61	22,92
06:50	25,3	61	22,92
07:00	25,3	61	22,92
07:10	25,3	61	22,92
07:20	25,3	61	22,92
07:30	25,3	61	22,92
07:40	25,3	61	22,92
07:50	25,3	61	22,92
08:00	25,3	61	22,92
08:10	25,3	61	22,92
08:20	25,3	61	22,92
08:30	25,3	61	22,92
08:40	25,3	61	22,92
08:50	25,3	61	22,92
09:00	25,3	61	22,92
09:10	25,3	61	22,92
09:20	25,3	61	22,92
09:30	25,3	61	22,92
09:40	25,3	61	22,92
09:50	25,3	61	22,92
10:00	25,3	61	22,92
10:10	25,3	61	22,92
10:20	25,3	61	22,92
10:30	25,3	61	22,92
10:40	25,3	61	22,92
10:50	25,3	61	22,92
11:00	25,3	61	22,92
11:10	25,3	61	22,92
11:20	25,3	61	22,92
11:30	25,3	61	22,92
11:40	25,3	61	22,92
11:50	25,3	61	22,92
12:00	25,3	61	22,92
12:10	25,3	61	22,92
12:20	25,3	61	22,92
12:30	25,3	61	22,92
12:40	25,3	61	22,92
12:50	25,3	61	22,92
13:00	25,3	61	22,92
13:10	25,3	61	22,92
13:20	25,3	61	22,92
13:30	25,3	61	22,92
13:40	25,3	61	22,92
13:50	25,3	61	22,92
14:00	25,3	61	22,92
14:10	25,3	61	22,92
14:20	25,3	61	22,92
14:30	25,3	61	22,92
14:40	25,3	61	22,92
14:50	25,3	61	22,92
15:00	25,3	61	22,92
15:10	25,3	61	22,92
15:20	25,3	61	22,92
15:30	25,3	61	22,92
15:40	25,3	61	22,92
15:50	25,3	61	22,92
16:00	25,3	61	22,92
16:10	25,3	61	22,92
16:20	25,3	61	22,92
16:30	25,3	61	22,92
16:40	25,3	61	22,92
16:50	25,3	61	22,92
17:00	25,3	61	22,92
17:10	25,3	61	22,92
17:20	25,3	61	22,92
17:30	25,3	61	22,92
17:40	25,3	61	22,92
17:50	25,3	61	22,92
18:00	25,3	61	22,92
18:10	25,3	61	22,92
18:20	25,3	61	22,92
18:30	25,3	61	22,92
18:40	25,3	61	22,92
18:50	25,3	61	22,92
19:00	25,3	61	22,92
19:10	25,3	61	22,92
19:20	25,3	61	22,92
19:30	25,3	61	22,92
19:40	25,3	61	22,92
19:50	25,3	61	22,92
20:00	25,3	61	22,92
20:10	25,3	61	22,92
20:20	25,3	61	22,92
20:30	25,3	61	22,92
20:40	25,3	61	22,92
20:50	25,3	61	22,92
21:00	25,3	61	22,92
21:10	25,3	61	22,92
21:20	25,3	61	22,92
21:30	25,3	61	22,92
21:40	25,3	61	22,92
21:50	25,3	61	22,92
22:00	25,3	61	22,92
22:10	25,3	61	22,92
22:20	25,3	61	22,92
22:30	25,3	61	22,92
22:40	25,3	61	22,92
22:50	25,3	61	22,92
23:00	25,3	61	22,92
23:10	25,3	61	22,92
23:20	25,3	61	22,92
23:30	25,3	61	22,92
23:40	25,3	61	22,92
23:50	25,3	61	22,92

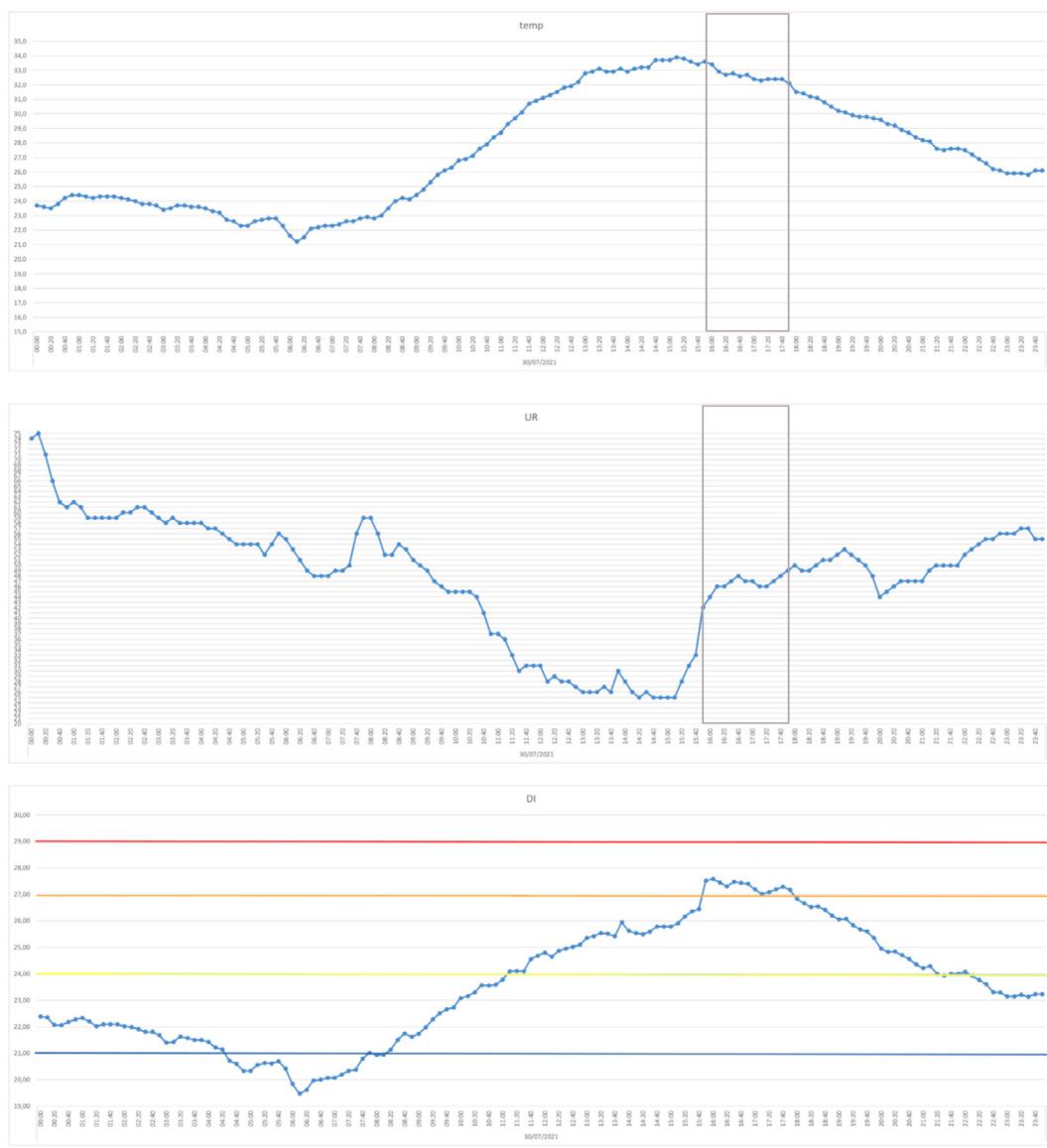


Fig. 4 Grafici giornalieri di Temperatura (T°C), Umidità Relativa (UR%) e Discomfort Index di Thom (D.I.), elaborati sulla base dei dati rilevati dalla stazione meteo dell'Osservatorio Meteorologico e Sismologico di Cave, del Sig. Roberto De Feo, e del calcolo del Discomfort Index di Thom, con l'evidenziazione dell'intervallo di tempo in cui viene superata la soglia della classe in cui "La maggioranza della popolazione prova disagio e un deterioramento dello stato psicofisico", per un giorno tra i più significativi del mese di luglio: 30.7.2021.

Proseguendo l'analisi, si rileva che in circa il 68% dei giorni di luglio 2021 (21 su 31) e in circa il 65% dei giorni di agosto 2021 (20 su 31), il D.I. è compreso tra 24 e 27 e, quindi, "Più della metà della popolazione prova disagio", in luglio per un totale di 133h30', che diviso per 21 giorni dà una media di 6h21' circa al giorno, da un minimo di 1h10' (19 luglio) ad un massimo di 12h20' (7 luglio), in agosto per un totale di 154h, che diviso per 20 giorni dà una media di 7h42' al giorno, da un minimo di 50' (20 agosto) ad un massimo di 14h (12 agosto). Facendo un paragone tra i due mesi, si nota che i giorni in cui questa percentuale di popolazione prova disagio è analoga, ma la durata del disagio giornaliero è leggermente maggiore nel mese di agosto.

La valutazione speditiva della pericolosità delle ondate di calore fa riferimento in primis alle cinque classi di disagio del "Discomfort Index di Thom" quindi le classi di pericolosità sono cinque: Molto bassa, Bassa, Media, Alta, Molto Alta, misurabili con valori crescenti da 1 a 5 (Fig. 6).

Vari livelli di disagio si possono presentare nello stesso giorno e nello stesso mese, perciò per decidere quale è il livello a cui riferirsi per dare un valutazione complessiva nell'arco del mese o di più mesi, oltre a considerare l'entità è necessario considerare la ricorrenza del livello di disagio nel tempo.

Per quanto riguarda la valutazione della pericolosità degli spazi urbani del nucleo storico di Cave, considerando che "Più della metà della popolazione prova disagio" per una media di più del 66% dei giorni, nei mesi di luglio e agosto 2021, possiamo classificare gli spazi urbani di Cave nella seconda classe di disagio, e quindi attribuire ad essi un valore numerico puntuale uguale a 2; quindi una valutazione di pericolosità bassa, costante in tutta l'area considerata, avendo a disposizione dati forniti da un sola stazione meteorologica.

nella pagina a fianco, **Fig. 5** Grafici, analoghi a quelli di Fig.4, elaborati per un giorno tra i più significativi del mese di agosto: 12.8.2021.

ora	temp	UR	D.I.
00:00	28.7	40	24.01
00:10	28.2	39	23.60
00:20	28.6	39	23.87
00:30	28.7	39	23.94
00:40	28.7	39	23.94
00:50	28.8	39	24.00
01:00	28.8	39	24.00
01:10	28.7	41	24.09
01:20	28.5	45	24.27
01:30	27.3	48	23.64
01:40	26.2	50	22.98
01:50	25.6	51	22.61
02:00	25.3	51	22.59
02:10	25.3	52	22.45
02:20	25.1	53	22.36
02:30	24.7	52	22.01
02:40	25.2	50	22.26
02:50	25.8	48	22.57
03:00	25.8	47	22.51
03:10	25.9	47	22.58
05:10	26.2	44	22.60
05:20	26.3	43	22.60
05:30	26.3	45	22.73
05:40	25.9	48	22.64
05:50	25.3	47	22.15
06:00	25.3	44	21.97
06:10	25.3	40	21.74
06:20	25.3	38	21.62
06:30	26.1	37	22.08
06:40	26.7	37	22.47
06:50	26.7	35	22.34
07:00	26.4	37	22.28
07:10	26.4	38	22.34
07:20	26.7	38	22.54
07:30	27.1	39	22.87
07:40	27.2	39	22.94
07:50	27.1	41	23.61
08:00	27.6	40	23.28
08:10	27.9	35	23.11
08:20	28.7	36	23.70
08:30	28.7	37	23.78
08:40	29.2	37	24.11
08:50	29.6	39	24.53
09:00	29.4	42	24.65
09:10	28.8	42	24.24
09:20	28.9	43	24.39
09:30	29.3	40	24.42
09:40	29.4	43	24.73
09:50	30	41	24.97
10:00	30.7	42	25.19
11:00	32.6	37	25.33
12:00	32.7	27	25.39
12:10	32.9	25	25.31
12:20	33.2	24	25.38
12:30	33.3	23	25.34
12:40	33.4	21	25.19
12:50	33.6	21	25.30
13:00	33.9	20	25.36
13:10	34.1	20	25.48
13:20	34.2	19	25.42
13:30	34.3	19	25.48
13:40	34.6	18	25.53
14:00	34.6	17	25.42
14:10	34.8	17	25.53
14:20	34.8	17	25.53
14:30	34.9	16	25.58
14:40	34.9	17	25.59
15:50	35.7	15	25.79
16:00	35.8	28	27.37
16:10	34.7	26	26.48
16:20	34.6	24	26.20
16:30	34.9	25	26.49
16:40	34.8	24	26.31
16:50	34.9	23	26.26
17:00	34.9	23	26.26
17:10	35	21	26.09
17:20	35	21	26.09
17:30	35	21	26.09
17:40	34.9	26	26.60
17:50	34.8	29	26.97
18:00	34.2	31	26.72
19:30	31.4	39	25.73
19:40	31.2	37	25.41
19:50	30.9	35	25.04
20:00	30.8	35	24.97
20:10	30.6	35	24.84
20:20	30.1	34	24.44
20:30	29.8	33	24.16
20:40	30	31	24.12
20:50	29.9	28	23.80
21:00	30	28	23.86
21:10	30.1	27	23.84
21:20	30.1	32	24.27
21:30	29.4	32	23.83
21:40	29.3	31	23.68
21:50	29.3	31	23.68
22:00	29.3	35	24.01
22:10	28.8	34	23.61
22:20	28.3	36	23.44
22:30	27.6	36	22.99
22:40	27.7	36	23.05
22:50	27.7	38	23.20
23:00	27	39	22.81
23:10	26.8	40	22.74
23:20	26.7	39	22.61
23:30	26.8	39	22.67
23:40	27.5	37	23.00
23:50	27.7	36	23.05

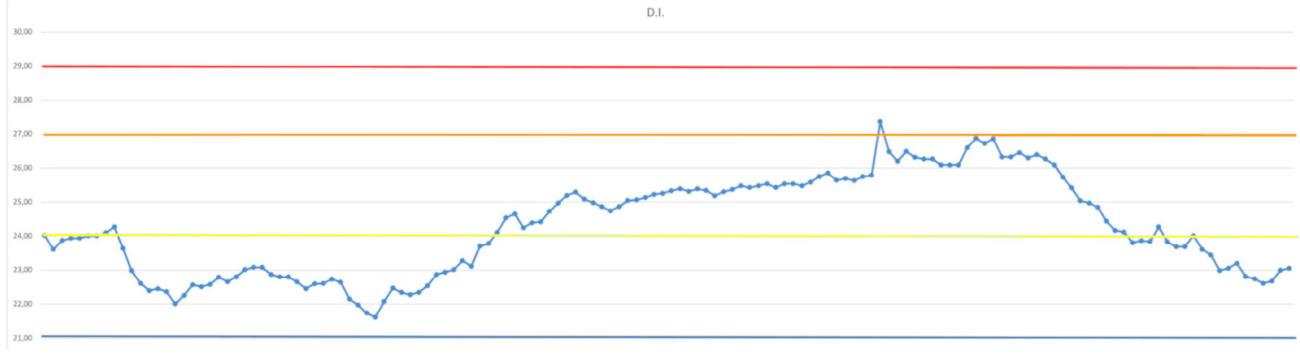
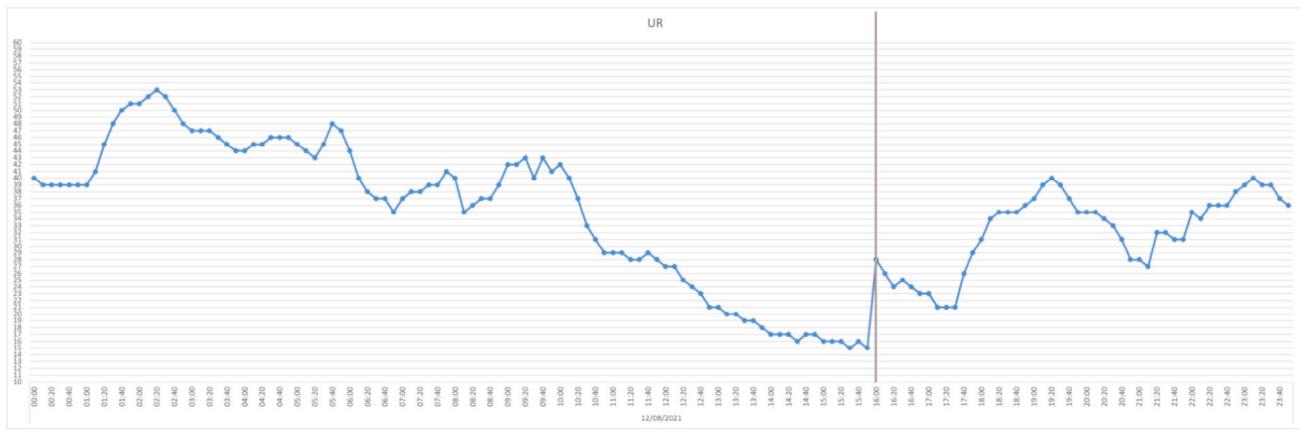
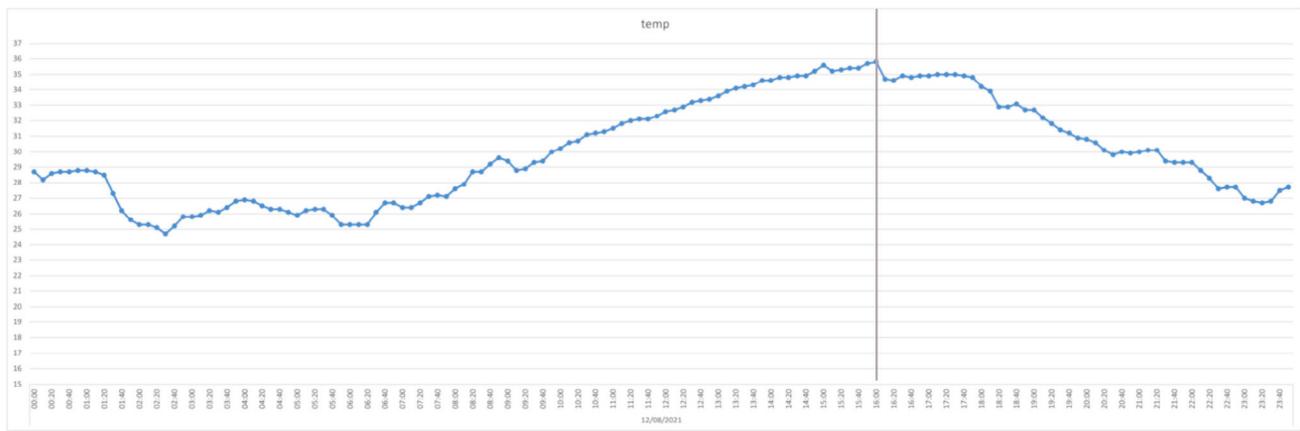


Fig. 6

Proposta di valutazione speditiva della pericolosità articolata in cinque classi e cinque valori; le classi di pericolosità sono connesse a intervalli e fasce di disagio dell'Indice di Thom, dove MB = Molto bassa, B = Bassa, M = Media, A = Alta, MA = Molto Alta.

Classi		Pericolosità	
Disagio (Indice di Thom)			
21 ≤ D.I. < 24	Meno della metà della popolazione prova disagio	MB	1
24 ≤ D.I. < 27	Più della metà della popolazione prova disagio	B	2
27 ≤ D.I. < 29	La maggioranza della popolazione prova disagio e un deterioramento dello stato psico-fisico	M	3
29 ≤ D.I. < 32	Tutta la popolazione prova un forte disagio	A	4
D.I. ≥ 32	Stato di emergenza sanitaria per il disagio molto forte con elevato rischio di colpi di calore	MA	5

A questo primo studio si sono aggiunte alcune considerazioni in merito all'influenza del perdurare del fenomeno nel tempo, come già accennato nella metodologia per la valutazione della pericolosità (cfr. Par. 3.8.2.1). Percepire un disagio per un breve lasso di tempo o per alcune ore, per mezza giornata o per l'intera giornata, per uno o più giorni in successione di sicuro fa la differenza perché la sopportazione è messa a dura prova. A tale scopo sono state fatte due analisi: la prima riguarda le conseguenze legate alla durata del fenomeno quando esso ha una maggior ricaduta sulla popolazione; la seconda riguarda le conseguenze della durata del fenomeno quando esso ricade su una quantità di popolazione minore, ma più sensibile. La prima analisi viene brevemente illustrata di seguito, la seconda si riporta successivamente più in particolare, perché è la più significativa ed è quella che fa capire meglio l'entità del fenomeno.

Con la prima analisi, considerando la durata media del fenomeno, si può fare una valutazione del disagio percepito dalla maggior parte della popolazione, adottando tre intervalli quantitativi di ore che permettono di classificarlo dal minimo al massimo, in una scala di pesi da 1 a 3: un disagio di livello basso (< 5 ore), medio (5-10 ore) o alto (> 10 ore); gli intervalli proposti fanno riferimento al potenziale numero di ore di luce solare¹⁹.

Analizzando i dati sopra riportati, si può quindi dire che, nei due mesi considerati, più della metà della popolazione prova un disagio di livello medio (peso 2) visto che il discomfort dura in media da più di sei ore a poco meno di otto ore al giorno.

Inoltre si è rilevato che nel 100% dei giorni di luglio e di agosto 2021 (31 giorni), il D.I. è compreso tra 21 e 24, quindi nelle ore interessate da questo indice solo "Meno della metà della popolazione prova disagio", per un totale di 364h40' in luglio e per un totale di 352h in agosto; dividendo queste ore per 31 giorni, in luglio si ottiene una media di circa 11h al giorno, da un minimo di 2h10' (il 17 luglio) ad un massimo di 24h, a cui si aggiunge 1h50' in continuità con il giorno successivo (25h50' nella notte tra il 26 e il 27 luglio), e in agosto si ottiene una media di poco maggiore: 11h21' circa al giorno, da un minimo di 2h30' (il 29 agosto) ad un massimo di 20h30' in continuità con il giorno successivo (nella notte tra il 16 e il 17 agosto). In questo caso la situazione è molto simile nei due mesi, per quanto concerne il totale delle ore di disagio e di conseguenza per la media delle ore giornaliere; si può però rilevare che, in entrambi i mesi, il disagio si presenta incessantemente, pur interessando diverse percentuali di persone, sia durante il periodo diurno che notturno, e spesso in continuità tra giorni successivi, in particolare, nel mese di luglio superando anche le 24h.

Se si continua a prendere in considerazione l'influenza del perdurare del fenomeno nel tempo, non si può non evidenziare che le diverse situazioni, caratterizzate da indici di discomfort che vanno dal più basso verso il più alto (nel caso di Cave: 3), sono in sequenza e quindi per le persone che sono più sensibili al caldo, cioè per coloro che sentono il disagio per prime ("Meno della metà della popolazione"), le ore di disagio si accumulano. È importante capire la reale entità del disagio a cui tali persone sono sottoposte, perché in genere esse appartengono proprio alle categorie più deboli della popolazione, che sono le prime ad essere sensibili al caldo e più provate da esso; a tal fine, nell'analisi, vale la pena sommare il numero di ore in cui prova disagio solo il gruppo definito come minore della metà della popolazione (con il D.I. compreso tra 21 e 24) al numero di ore in cui lo stesso gruppo continua a provare disagio mentre ad esso si aggiungono altre persone che, a loro volta, iniziano a provare disagio (con il D.I. compreso tra 24 e 27), formando così, insieme, il gruppo definito come maggiore della metà della popolazione, e, infine, anche al numero di ore in cui la maggioranza della popolazione non solo prova disagio ma anche un deterioramento dello stato psico-fisico (con il D.I. compreso tra 27 e 29).

Nella seconda analisi, sopra menzionata, si prendono quindi in considerazione le conseguenze del fenomeno delle ondate di calore con la loro ricaduta su tutti e tre i gruppi di popolazione interessata. Infatti, i tre livelli di disagio, sentiti dalle diverse percentuali di popolazione, sono spesso in sequenza e quindi il gruppo contrassegnato come: "Meno della metà della popolazione prova disagio", sopporta il disagio sia nelle ore in cui è l'unico a subirlo sia in quelle in cui ad esso si aggiungono altre persone, meno sensibili, che lo percepiscono in tempi successivi, e che fanno arrivare la percentuale, prima, a "Più della metà della popolazione prova disagio" e, poi, a "La maggioranza della popolazione prova disagio e un deterioramento dello stato psico-fisico". Vale la pena quindi considerare i giorni in cui tali ore si assommano, per definire il numero complessivo di ore di disagio a cui sono sottoposte queste persone più sensibili e valutarne meglio l'importanza.

Considerando la somma delle ore interessate dai tre indici di discomfort, possiamo dire che nel 100% dei giorni di luglio e di agosto 2021 (31 giorni) "Meno della metà della popolazione prova disagio", per un totale di 498h10' in luglio e per un totale di 506h10' in agosto; suddividendo queste ore per 31 giorni, in luglio si ottiene una media di circa 16h al giorno, da un minimo di 2h10' ad un massimo di oltre 24h (fino a 29h10'), e in agosto si ottiene

¹⁹ La definizione di tali intervalli, e dei connessi livelli e pesi, fa riferimento al metodo definito in precedenti ricerche applicate svolte nell'area romana, già citato (Martincigh, L., Di Guida, M., 2019); esso viene in parte descritto nell'analisi di pericolosità del fenomeno delle isole urbane di calore (cfr. Par. 7.8.4.1).

Fig. 7

Valutazione complessiva della durata della percezione del disagio, basata sulla somma dei pesi attribuiti al numero di ore di disagio percepito da percentuali diverse di popolazione, che rappresentano sia la maggior quantità sia la maggior sensibilità delle persone interessate dal fenomeno; conseguente articolazione dei valori risultanti in cinque classi con relativi pesi.

Matrice della durata della percezione del disagio					Classi	Range = Peso
Range, orari, livelli e pesi		Disagio percepito da meno del 50% della popolazione			Molto alta	6
		(≤ 8 ore) basso = 1	(8 < ore ≤ 16) medio = 2	(>16 ore) alto = 3	Alta	5
Disagio percepito da più del 50% della popolazione	(< 5 ore) basso = 1	2	3	4	Media	4
	(5-10 ore) medio = 2	3	4	5	Bassa	3
	(> 10 ore) alto = 3	4	5	6	Molto bassa	2

una media di circa 16h19' al giorno, da un minimo di 2h30' ad un massimo di oltre 24h (fino a 28h). Nei due mesi ci sono piccole differenze sia nel totale, e di conseguenza nella media giornaliera, sia nel numero minimo e massimo delle ore di disagio; in entrambi i casi si rileva che il disagio supera le 24h ogni volta che c'è una continuità temporale, permanendo il fenomeno non solo durante la notte ma, a volte, anche fino alle prime ore del giorno successivo, poco prima dell'alba.

Questa analisi ci restituisce un quadro ben diverso, da cui risulta evidente come la media reale delle ore di disagio per questo gruppo di popolazione è più alta delle 11 ore precedentemente calcolate, non considerando la compresenza dei gruppi di popolazione.

In questa seconda analisi, per fare la valutazione, si considera il numero di ore in cui, in media, meno della metà della popolazione prova disagio; tale valore si confronta con tre intervalli orari analoghi che permettono di classificare il disagio percepito da un livello minimo a un livello massimo, in una scala di pesi da 1 a 3: basso (< 8 ore), medio (8-16 ore) o alto (> 16 ore); gli intervalli e le soglie sono definiti considerando le ore di irraggiamento solare, la loro distribuzione nell'arco della giornata e il perdurare del fenomeno nelle 24 ore, anche in assenza di sole²⁰.

Alla fine di questa analisi si può dire che, nei due mesi considerati, meno della metà della popolazione prova un disagio di livello alto (peso 3), visto che il discomfort dura in media più di sedici ore al giorno con picchi che superano le ventiquattro ore.

In particolare si può anche dire che, rispettivamente, durante i mesi di luglio e agosto nel 16% dei casi (5 giorni su 31) e nel 13% dei casi (4 giorni su 31) meno della metà della popolazione prova poco disagio, in quanto i due fenomeni, con D.I. diverso, non si assommano e il numero di ore è limitato (da un minimo di 2h10' a un massimo di 7h30' in luglio e da un minimo di 2h30' a un massimo di 8h, limite superiore dell'intervallo orario, in agosto). In luglio, nel 26% dei casi (8 giorni su 31), e in agosto, nel 35% dei casi (11 giorni su 31), meno della metà della popolazione prova un disagio medio (da un minimo di 8h50' ad un massimo di 15h20' in luglio e da un minimo di 10h ad un massimo di 16h, limite superiore dell'intervallo, in agosto) dovuto, in alcuni giorni (rispettivamente 2 e 7) al permanere del solo D.I. minore, in altri (rispettivamente 6 e 4) nonostante la presenza dei due D.I. diversi in sequenza; in questi ultimi casi è da notare che il fenomeno permane sempre, con alcune piccole differenze tra un mese e l'altro, fino al tramonto, in alcuni casi anche dopo di esso e a volte ben oltre il tramonto. In luglio, in quasi il 58% dei giorni (18 su 31), e in agosto, in quasi il 52% dei giorni (16 su 31), meno della metà della popolazione prova molto disagio, in quanto, in entrambi i mesi, le ore di disagio che si assommano vanno da un minimo di 16h10' (4 luglio 2021 e 19 agosto 2021) a un massimo di 24h e oltre.

Sommando i risultati delle valutazioni fatte nella prima e nella seconda analisi, è possibile formulare, attraverso una matrice, una valutazione complessiva e conseguentemente articolare la durata della percezione del disagio in cinque classi, identificate da pesi (in ordine crescente, da 2 a 6): Molto bassa, Bassa, Media, Alta, Molto Alta (Fig. 7).

²⁰ Per definire i tre intervalli orari, si è fatto riferimento alla zona romana e al solstizio d'estate (21.6.2021), che rappresenta il giorno con il massimo numero di ore di luce solare (a Roma 15h14'); quindi, le soglie superiori sono legate, nel caso del massimo disagio, al permanere del fenomeno anche nelle ore con assenza di soleggiamento (notturne), nel caso del disagio medio, al massimo numero di ore di soleggiamento (diurno), nel caso del disagio minimo, al presentarsi del fenomeno nelle ore centrali della giornata. A Cave, il 21.6.2021, giorno del solstizio d'estate (alba alle 05:33 e tramonto 20:47) il numero di ore di luce solare è uguale a quello di Roma.

Matrice della durata del disagio a Cave				
Pesi		Disagio percepito da meno del 50% della popolazione		
		1	2	3
Disagio percepito da più del 50% della popolazione	1	2	3	4
	2	3	4	5
	3	4	5	6

Fig. 8
La valutazione complessiva della durata del disagio, percepito dalla popolazione del nucleo più antico nel centro storico di Cave, ha un peso uguale a 5, risultato dalla somma dei valori attribuiti al numero di ore di disagio percepito da percentuali diverse di popolazione; tale peso classifica la durata del disagio come alta.

Matrice della pericolosità						
Pesi		Classi di durata della percezione del disagio				
		2	3	4	5	6
Classi di disagio secondo Indice di Thom	1	2	3	4	5	6
	2	4	6	8	10	12
	3	6	9	12	15	18
	4	8	12	16	20	24
	5	10	15	20	25	30

Classi di pericolosità e peso		Range di pericolosità
Molto bassa	= 1	$2 \leq P \leq 5$
Bassa	= 2	$5 < P < 10$
Media	= 3	$10 \leq P \leq 15$
Alta	= 4	$15 < P \leq 20$
Molto alta	= 5	$20 < P \leq 30$

Fig. 9
Valutazione complessiva della pericolosità basata sul prodotto tra i pesi relativi a due criteri di giudizio del disagio: percezione del fenomeno da parte della popolazione e possibili conseguenze sulla salute; continuità temporale della percezione del fenomeno e possibili conseguenze sulla capacità di sopportazione della popolazione. Articolazione dei valori risultanti in 5 range e definizione delle classi di pericolosità corrispondenti con i relativi pesi.

Nel caso di Cave, la somma dei due valori risultanti dalla prima analisi (livello medio = 2) e dalla seconda analisi (livello alto = 3), porta a una valutazione complessiva che ha un valore numerico equivalente alla classe Alta (peso 5) di durata della percezione del disagio (Fig. 8).

In conclusione, ove si potesse fare una valutazione più approfondita, come auspicabile, per i vari spazi urbani, con valori numerici puntuali, alla valutazione speditiva sopra definita, riferita ai cinque livelli di disagio del “Discomfort Index di Thom”, si può aggiungere un peso, da usare come moltiplicatore, relativo al disagio legato alla durata, valutabile anch’esso in cinque classi, come sopra descritto; in questo modo si ottiene una valutazione pesata della pericolosità delle ondate di calore sulla base della percezione del disagio e delle conseguenze sulla salute, secondo l’Indice di Thom, e della durata di tale disagio, in relazione alle due analisi sopra descritte. In base ai risultati della suddetta valutazione, sono state definite cinque classi di pericolosità, corrispondenti a cinque range che, in ordine crescente (con peso da 1 a 5), corrispondono a una pericolosità: Molto bassa, Bassa, Media, Alta, Molto alta (Fig. 9). Nel caso di Cave, la valutazione, costante in tutti gli spazi urbani, è risultata uguale a 2, in riferimento all’applicazione dell’Indice di Thom, e uguale a 5 in riferimento all’influenza della durata sulla percezione del disagio; la valutazione complessiva della pericolosità risulta così uguale a 10, valore che fa classificare la pericolosità come media con un peso 3 (Fig. 10). Lo scatto di livello rende evidente l’importanza di considerare anche la durata del fenomeno.

Proseguendo l’analisi, questa affermazione risulta ancor più suffragata. Tralasciando la durata del fenomeno fino a poco prima del tramonto o fino a poco dopo il tramonto e la durata del fenomeno fino alla mezzanotte o fino alle prime ore dopo la mezzanotte, vale la pena soffermarsi su una situazione che si verifica mettendo a dura prova la resistenza della popolazione e che, come conseguenza, porta all’attivazione di sistemi di condizionamento energivori all’interno delle abitazioni. Questa riguarda la presenza del fenomeno non solo durante il giorno e durante

Fig. 10

La valutazione complessiva della pericolosità dovuta alle possibili ondate di calore, negli spazi analizzati situati nel nucleo più antico del centro storico di Cave, risulta dalla moltiplicazione dei valori attribuiti alle due classi di disagio considerate; il prodotto ricade nel range di classificazione equivalente a una pericolosità media, con peso uguale a 3.

Valutazione della pericolosità a Cave			
	Classi di disagio secondo:		
Peso della classe negli spazi analizzati	Indice di Thom	Durata della percezione	TOTALE
	2	5	10



CLASSE di pericolosità	PESO della classe
Media	3

tutta la notte, dal tramonto all'alba, ma anche il giorno successivo, senza soluzione di continuità tra i giorni o con una interruzione brevissima (max circa 1 h), in genere poco prima dell'alba, che certamente viene scarsamente percepita dalla popolazione.

In luglio sono emblematici 4 casi: la sequenza 6,7, 8 e 9 luglio, quando c'è continuità dalla mattina del 6 luglio (07:50) fino a poche ore dopo la mezzanotte (02:30 del 9 luglio), con una breve interruzione di un'ora e dieci minuti all'alba del 7 luglio (04:40 - 05:50), per un totale di ore disagio quasi ininterrotto, nei due livelli riscontrati, uguale a 65h40'; la sequenza 24, 25, 26 e 27 luglio, quando c'è continuità dalla mattina del 24 luglio (08:00) fino a poco prima dell'alba del 27 luglio (04:10), con una breve interruzione di un'ora all'alba del 25 luglio (04:30 - 05:30), per un totale di ore disagio quasi ininterrotto, nei due livelli riscontrati, uguale a 68h10'; la sequenza 28, 29 e 30 luglio, quando c'è continuità dalla mattina del 28 luglio (07:40) fino a poco prima dell'alba del 30 luglio (04:20), per un totale di ore disagio quasi ininterrotto, nei due livelli riscontrati, uguale a 45h30'; infine, la sequenza 30, 31 luglio e 1 agosto, quando c'è continuità dalla mattina del 30 luglio (07:40) fino a poco prima della mezzanotte dell'1 agosto (23:20), per un totale di ore di disagio ininterrotto uguale a 63h40'. In quest'ultimo caso il disagio continuo è acuito vieppiù dall'alto numero di ore di D.I. maggiore (28h30') e in particolare dalla presenza di un picco di 2h10' di D.I. compreso tra 27 e 29, in cui "La maggioranza della popolazione prova disagio e un deterioramento dello stato psico-fisico", che è ovviamente maggiormente accusato data la sequenza che non lascia un momento di respiro. Dal 24 luglio al 1 agosto le interruzioni del disagio, che sono sempre nelle ore vicine all'alba, sono comunque brevi periodi di respiro (da un minimo di 50' ad un massimo di 3h) e quindi la percezione del disagio potrebbe anche essere considerata continua almeno da meno della metà delle persone interessate dal fenomeno; in questo caso la sequenza diventerebbe di quasi otto giorni.

In agosto, sono emblematici 3 casi che concernono sempre la sequenza di due giorni: il primo, che riguarda il 4 e il 5, presenta solo un'interruzione di 70' all'alba (06:30 - 07:40); il secondo, che riguarda il 7 e l'8, ha un'interruzione di 40' (02:00 - 02:40); il terzo, che riguarda l'8 e il 9, presenta un'interruzione di 70' (06:20 - 07:30). Nel mese però c'è un caso, che si può dire veramente rappresentativo di una situazione che prefigura un'ondata di calore importante; si tratta di una sequenza ininterrotta di quasi 9 giorni, dalla mattina dell'8 agosto (07:30) fino ad alcune ore dopo la mezzanotte (04:00) del 17 agosto, per un totale di ore (212h30') in cui si alternano tre diversi livelli di disagio; tale sequenza si può dire ininterrotta dato che le quattro interruzioni rilevate, sempre la mattina presto, sono tutte nei limiti temporali che, nella metodologia di analisi adottata, sono stati definiti come da non considerare (dai 10' ai 30') in quanto poco percepibili dalle persone come "tregua" dal discomfort. In ognuno di questi giorni, meno della metà della popolazione prova disagio per tutte le ventiquattro ore, quindi sopporta un livello alto di disagio, notte e giorno, ma non solo, tale disagio ininterrotto dura vari giorni, quindi probabilmente provoca una diminuzione della capacità di sopportazione. Infine, tale disagio continuo è acuito vieppiù dall'alto numero di ore (96h) con un indice di discomfort maggiore (con D.I. compreso tra 24 e 27) e dalla presenza di un picco di 10' di D.I. compreso tra 27 e 29, in cui "La maggioranza della popolazione prova disagio e un deterioramento dello stato psico-fisico", che probabilmente non ha rilevanza nella sequenza, poiché essa comunque non lascia un momento di respiro. Ove non considerassimo le due interruzioni del disagio, tra le sequenze di due giorni sopra menzionate (7 - 8 e 8 - 9), che, essendo comunque brevi periodi di respiro (da un minimo di 40' ad un massimo di 1h10'), potrebbero anche far percepire il disagio come continuo, almeno da meno della metà delle persone interessate dal fenomeno, la sequenza di giorni analizzata sopra diverrebbe ancora più lunga, iniziando il 7 agosto alle 9:10 e finendo il 17 agosto alle 04:00, e raggiungerebbe quasi dieci giorni.

Nei mesi più caldi, quali luglio e agosto, la durata del periodo di disagio, dovuto alle temperature e ai tassi di umidità elevati, maggiore di un giorno, che arriva a 3 o più giorni, può far purtroppo dire che le ondate di calore possono presentarsi a Cave, sia nell'ottica climatologica che epidemiologica. Come già detto, la presenza di una sola stazione meteorologica porta ad attribuire lo stesso livello di pericolosità a tutti gli spazi aperti presenti nell'area analizzata; questo livello, sulla base delle considerazioni fin qui fatte, potrebbe essere stimato in una costante di

pericolosità media, riconducibile a valori numerici definiti in modo diverso secondo il range scelto per la valutazione (cfr. Par. 3.8.2): in un range a 5 livelli potrebbe pesare 3 e in un range a 3 livelli potrebbe pesare 2.

Va inoltre considerato che il perdurare delle alte temperature anche in assenza di irraggiamento solare, che porta a un livello di disagio percepito dalla popolazione anche nelle ore dopo il tramonto e durante la notte, fa pensare ad una possibile presenza del fenomeno dell'isola di calore urbano nell'area interessata, per cui può essere utile approfondire l'analisi in tale direzione (cfr. Par. 7.8.4).

7.6.6.2. L'analisi della vulnerabilità

Come già spiegato nella descrizione della metodologia da utilizzare per definire la vulnerabilità, si è scelto di avvalersi dell'indicatore della frequentazione dei percorsi, che connettono origini e destinazioni nell'area studiata, per definire la suscettività degli utenti a essere investiti in modo negativo dal fenomeno delle ondate di calore (cfr. Par. 3.8.2.2).

Considerando come caso di studio il Comune di Cave, per prima cosa è stato necessario redigere una planimetria di base, che prende in considerazione il territorio comunale, e definire un'area, ubicata nel centro storico, idealmente perimetrata da un cerchio con raggio di 500 m, così come indicato nella metodologia citata. Una volta definita l'area da analizzare, la prima fase dell'analisi riguarda la definizione delle tipologie di utenze, che nel caso in oggetto sono due: gli abitanti e i frequentatori quotidiani/visitatori, e la definizione delle origini e delle destinazioni principali, che generano il flusso pedonale di queste due utenze.

Nella stessa planimetria sono evidenziate le destinazioni principali, rappresentate dai servizi pubblici, di interesse pubblico o generale, a livello comunale, raggruppati in categorie: amministrazione e sicurezza pubblica; culto; cultura e spettacolo; igiene, sanità e attività assistenziali; istruzione; trasporti; verde e sport; e da alcuni servizi di prima necessità più importanti. La planimetria comprende anche una parte del territorio esterno al centro storico, al fine di prendere in considerazione eventuali servizi necessari che, pur ricadendo al di fuori del cerchio di 500 m, andrebbero comunque raggiunti (Fig. 11).

Scendendo alla scala dell'area perimetrata, si approfondiscono, per quanto riguarda le destinazioni, sia i servizi pubblici, di interesse pubblico o generale, a livello comunale, sia i servizi di prima necessità ricadenti all'interno del cerchio ideale di 500 m, riportandoli in planimetria ed elencandoli in modo più dettagliato, così da fornire un quadro esaustivo, in particolare, del tessuto commerciale. Tale studio va fatto per tutta l'area perimetrata o per tutte le aree perimetrata, nel caso che il territorio comunale sia stato articolato in più aree; in questa trattazione, l'iter di analisi da svolgere viene esemplificato solo su una parte dell'area perimetrata, che comprende il nucleo più antico con la sede del Comune di Cave. Quindi l'approfondimento prosegue su uno stralcio della planimetria di base in cui, oltre alle destinazioni ricadenti al suo interno (servizi, tessuto commerciale, fermate dell'autobus, parcheggi etc.), sono riportate anche le denominazioni stradali che concernono i percorsi analizzati.

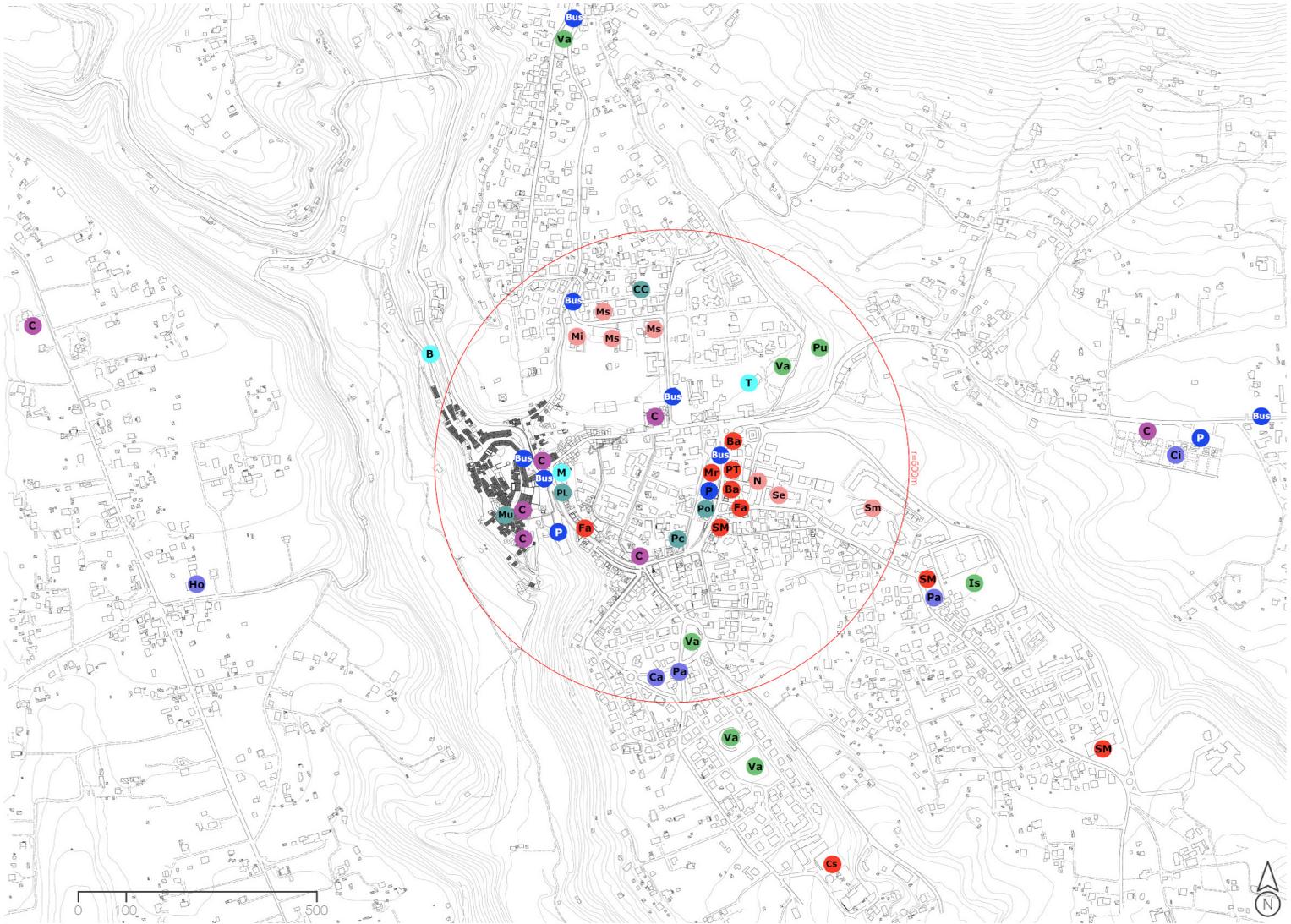
Le attività economiche, quelle commerciali nel settore alimentare e i pubblici esercizi sono concentrati su Piazza del Plebiscito e su Via Cavour; sono attività soprattutto di prossimità, perciò gli abitanti debbono allontanarsi da questa area per raggiungere tutti gli altri servizi, le scuole e per fare shopping, spostandosi lungo un asse di attrazione commerciale che si sviluppa in prosecuzione di Via Cavour, verso la zona di espansione novecentesca del centro cittadino, dove sono collocati, tra gli altri, il mercato, la banca, la posta etc.; a tal fine utilizzano il trasporto pubblico locale, una circolare che passa a orari prestabiliti (più o meno ogni ora), o mezzi propri, se e quando non possono affrontare il percorso a piedi. Le fermate del trasporto pubblico sono due; una è situata di fronte al bar di Piazza del Plebiscito (servizio Cotral e TPL-CILIA) e l'altra sul lato opposto, nello spazio verde alberato di Piazza delle Erbe, attrezzato con chiosco e panchine, all'inizio di Via Cavour. Per quanto riguarda i parcheggi, dalle comunicazioni dell'ufficio tecnico del Comune, risulta che "i residenti del centro storico possono accedere con le auto per il 90% dei tracciati" e che "su molti di questi vi sono sia posti a raso esterni che autorimesse private;" tali posti auto probabilmente non sono "in numero sufficiente a garantire tutte le unità immobiliari in quanto molti residenti utilizzano il parcheggio esterno", ubicato a Piazzale Unità d'Italia, con accesso da un ponte pedonale e dalla SS155, e "i posti auto disponibili su Via Roma (circa 30)"²¹. Alcuni di questi servizi, delle attività commerciali e dei pubblici esercizi costituiscono anche le destinazioni degli utenti che provengono dall'esterno: frequentatori quotidiani e visitatori, entrambi diretti soprattutto al Comune, i primi come dipendenti dell'Ente e i secondi come utenti dei servizi offerti (Fig. 12).

nella pagina a fianco,

Fig. 11

Ubicazione ed elencazione dei servizi principali, raggruppati per categorie, che ricadono all'interno o all'esterno dell'area teorica definita dal raggio massimo di 500 m, comprendente il centro storico di Cave, e che sono ritenuti potenziali destinazioni generatrici di flusso pedonale.

²¹ I dati e le informazioni in merito alla struttura urbana, agli aspetti sociali e alla vita quotidiana dell'area studiata, forniti dall'Ing. Paola Bardelloni, Responsabile, fino a settembre 2022, dell'Ufficio Tecnico del Comune di Cave, sono stati fondamentali per questa parte dell'analisi. La ringraziamo per la disponibilità e la fattiva collaborazione dimostrata in occasione del nostro lavoro di ricerca.



Legenda

Amministrazione e sicurezza pubblica	Mu municipio	Cultura e spettacolo	T teatro	Istruzione	N asilo nido	Verde e sport	Va verde attrezzato
	CC carabinieri		B biblioteca		Sm scuola materna		Plu parco urbano
	Pol polizia locale		M museo		Se scuola primaria		Is impianto sportivo
	Pc protezione civile	Igiene, sanità e attività assistenziali	Ca centro anziani		Mi scuola secondaria di 1° grado		
	PL pro loco		Pa poliambulatorio	Trasporti	Ms scuola secondaria di 2° grado	Servizi di prima necessità	Mr mercato rionale
			Ho hospice/housing sociale				Sm supermercato
Culto	C chiesa		Ci cimitero		Bus fermata bus		Fa farmacia
					P parcheggio		PT ufficio postale
							Ba banca
							Cs centro sportivo

Specifiche dei servizi principali che ricadono all'interno dell'area di raggio 500 m

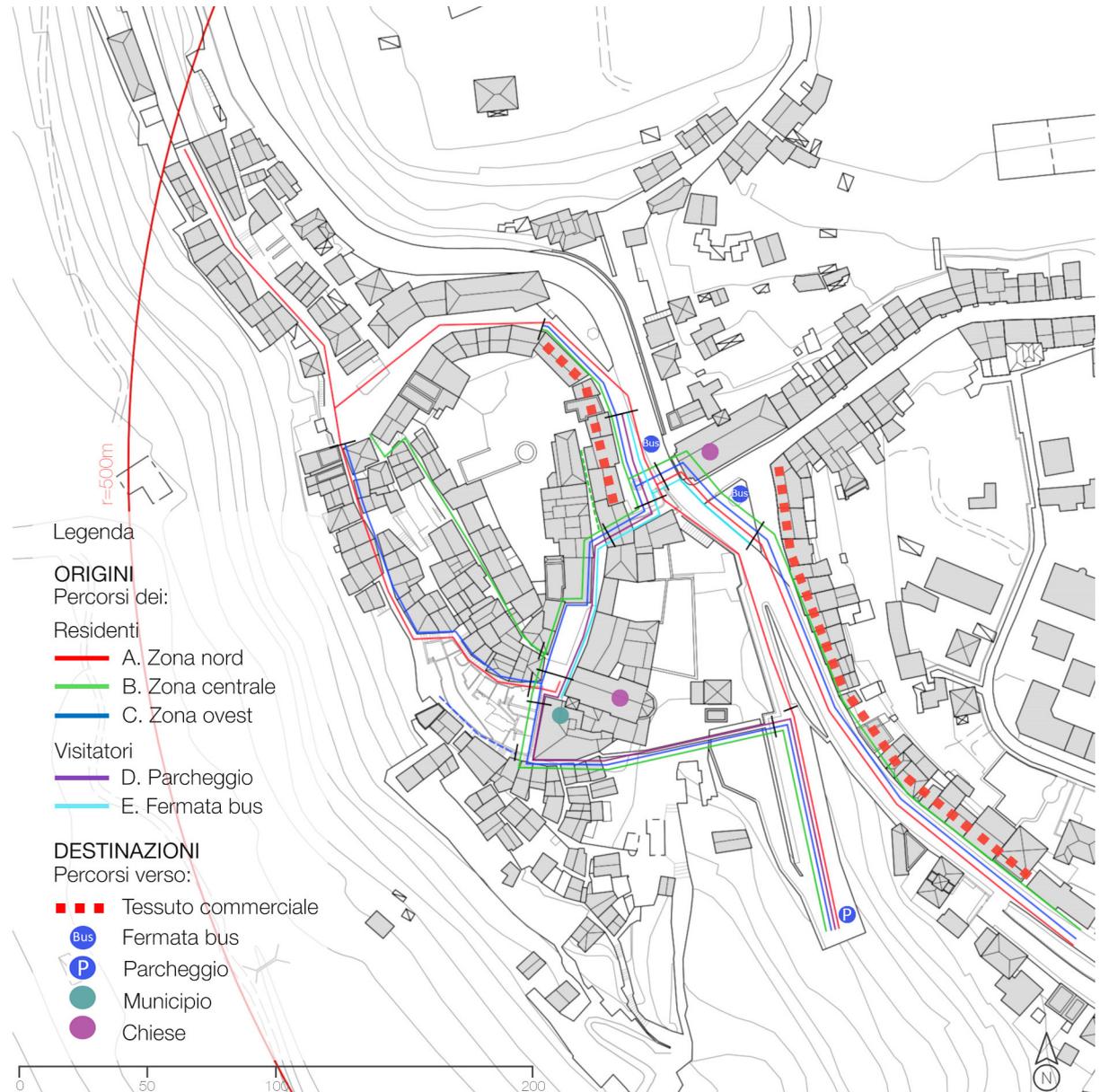
● Parrocchie: S. Carlo Borromeo, S. Maria, S. Pietro, S. Stefano, S. Maria in Plateis ● Scuola secondaria di 2° grado: Istituto Tecnico Commerciale, Istituto Alberghiero, Liceo Artistico

Per quanto riguarda la definizione delle origini, l'area in oggetto è stata idealmente suddivisa, considerando l'ubicazione e la struttura urbana, in nuclei residenziali che possono essere considerati come origini dei percorsi per l'utenza degli abitanti; sempre nell'ottica della semplificazione, sono stati ipotizzati tre quadranti: uno che congloba la zona nord, uno che comprende la zona centrale e l'altro la zona ovest del nucleo storico. Per l'utenza dei frequentatori quotidiani/visitatori, le origini dei percorsi pedonali sono rappresentate dalle due fermate dei mezzi di trasporto pubblico locale e dal parcheggio principale in Piazza Unità d'Italia.

Su una planimetria sono stati definiti i percorsi O-D (Origine-Destinazione) compiuti dai pedoni, disegnando con linee spezzate di diverso colore, per ogni utenza e origine, i percorsi più brevi, assimilabili alle varie linee d'aria, utilizzati per raggiungere le destinazioni prefissate dalle diverse origini (Fig. 13).

Fig. 13

Percorsi O – D (Origine-Destinazione) teoricamente utilizzati dai vari utenti per svolgere le attività abituali nel nucleo più antico del centro storico di Cave, scelto per esemplificare l'iter di analisi.



direzioni (E, segnato in turchese). I percorsi in genere non sono lunghi (la lunghezza media è 250 m, la lunghezza massima è 450 m), ma molti di essi presentano tratti a scale o sono in salita; ciò ne aumenta lo sforzo d'uso e quindi li fa percepire come più lunghi, oltre a non renderli adatti a tutti; per tale ragione, nella definizione dei percorsi utilizzati dalle diverse utenze per raggiungere le varie destinazioni, quando c'era un'alternativa si è scelta quella meno faticosa, come nel caso, per esempio, del percorso dei residenti provenienti dalla zona nord (A, segnato in rosso) verso la destinazione parcheggio.

Nella semplificazione fatta per la definizione dei quadranti residenziali, non sono state considerate due piccole aree che danno origine a due spezzoni di percorso: uno, a Nord Est, costituito da una scalinata e un tratto inclinato (Via del Fossato), che porta verso il percorso che ospita il flusso dei residenti della zona centrale nel tratto di Via della Pace, e l'altro a Sud Ovest, solo in piccola parte e solo su un lato fronteggiato da abitazioni, che inizia dallo spazio aperto verso la valle (Via Concordia, di cui mantiene il nome) e porta al tratto in salita (Via Scalonì Bielli) e poi a Piazza Garibaldi o verso il Ponte pedonale e il parcheggio. Questi due brevi tratti di percorso, con la limitata circolazione che li caratterizza, sono considerati come "affluenti" che confluiscono nei flussi di abitanti che utilizzano gli altri percorsi; per differenziarli, sono stati contrassegnati con un tratteggio dello stesso colore dell'utenza del quadrante limitrofo (rispettivamente verde e azzurro).

La misura dell'accumulo di presenze sullo stesso tratto è data dal numero delle utenze diverse (quindi di colori diversi, da 1 a 5) che lo percorrono, in un senso o nell'altro, in un momento della giornata. Come si può vedere

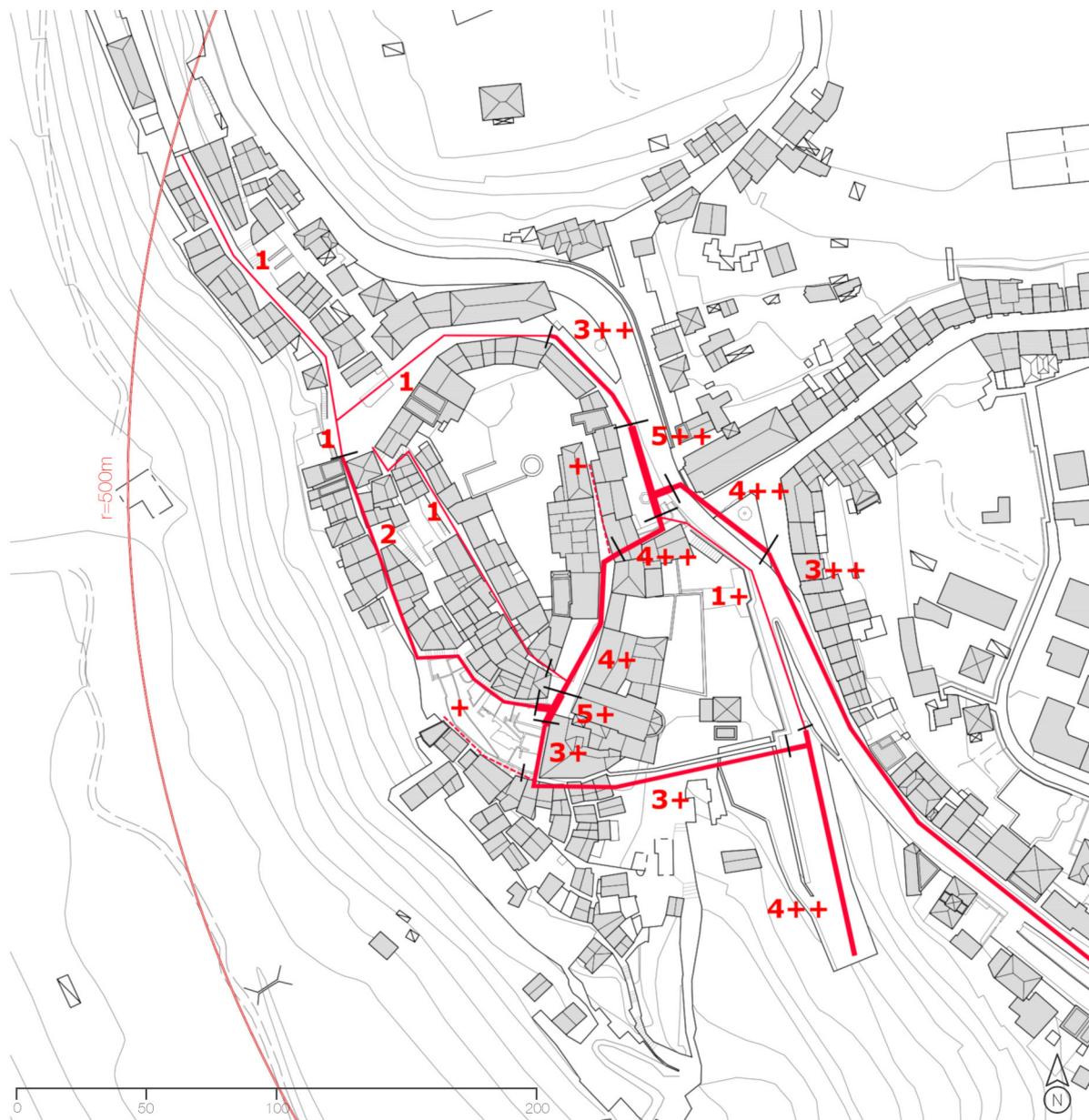


Fig. 14

La rete dei percorsi è un «fil rouge» di vario spessore, corrispondente a diversi valori numerici e incrementi, che evidenzia i livelli di frequentazione teorica, e quindi i livelli di vulnerabilità, dei vari tratti di percorso che la compongono.

sulla stessa planimetria, ogni cambio nel numero di utenze è contrassegnato da una barretta nera perpendicolare all'asse del percorso.

Per poter valutare il livello di frequentazione dei diversi percorsi teorici, ad ogni tratto di percorso coperto da ogni utenza per recarsi dall'origine alla destinazione viene attribuito un valore uguale a uno; l'utilizzazione dei vari tratti del percorso da parte delle diverse utenze ne definisce il peso complessivo, da un minimo di 1 a un massimo di 5. L'entità del flusso degli spezzoni di percorso, prima definiti come "affluenti", aumenta il peso dei vari tratti di percorso nei quali confluisce, ma non è tale da giustificarne un completo salto di categoria e quindi può essere considerata come un incremento al peso dei vari tratti di percorso interessati; nella valutazione ogni incremento è identificato con il segno "+". Il peso totale di ognuno dei diversi tratti dei percorsi teorici fa capire dove la frequentazione è maggiore e quindi dove la vulnerabilità è maggiore.

La rete di percorsi pesati, che risulta da questa analisi, può essere rappresentata da una linea dello stesso colore, ma con spessori diversi che comunicano i pesi, cioè i livelli di frequentazione, dei diversi tratti dei percorsi; anche in questo caso, ogni punto del percorso dove c'è un cambio di peso è contrassegnato da una barretta nera perpendicolare al suo asse, in modo da precisare l'estensione dei tratti di percorso con peso diverso; per una lettura più immediata, su ogni tratto di percorso è riportato il peso che lo contraddistingue, con un numero da 1 a 5, con gli eventuali rispettivi incrementi (Fig. 14).

Fig. 15

Gli spazi urbani analizzati sono elencati in ordine crescente di priorità, derivante dalla presenza delle varie utenze e dal peso complessivo, incrementi compresi, a essi attribuito, che ne definisce il livello di frequentazione; più alto è il peso, maggiore è il livello di vulnerabilità (per identificare gli spazi urbani, cfr. Fig. 12).

Spazi urbani	Utenti	Peso	Spazi urbani	Utenti	Peso
Via Prenestina Vecchia	A	1	Via Roma - Piazza del Plebiscito	A-B-C	3 ++
Via Prenestina Vecchia - Via Roma	A	1	Via Cavour	A-B-C	3 ++
Via Pié di Palazzo	B	1	Piazza G. Garibaldi - Via della Pace	B-C-D-E	4 +
Via Cavour - Piazzale Unità d'Italia	A	1 +	Via della Pace - Piazza del Plebiscito	B-C-D-E	4 ++
Via Concordia	A-C	2	Piazza delle Erbe	A-B-C-E	4 ++
Via Indipendenza	A-C	2	Piazzale Unità d'Italia	A-B-C-D	4 ++
Via Scalonì Bielli - Ponte pedonale	B-C-D	3 +	Piazza G. Garibaldi - Via Scalonì Bielli	A-B-C-D-E	5 +
Ponte pedonale	B-C-D	3 +	Piazza del Plebiscito	A-B-C-D-E	5 ++

Fig. 16

Valutazione sintetica della vulnerabilità nei percorsi analizzati a Cave, espressa utilizzando cinque classi, corrispondenti a cinque intervalli di valori correlati ai livelli di frequentazione teorica.

Classi di vulnerabilità e peso	Range valori dei livelli di frequentazione
Molto bassa = 1	1 e incrementi
Bassa = 2	2 e incrementi
Media = 3	3 e incrementi
Alta = 4	4 e incrementi
Molto alta = 5	5 e incrementi

Una tabella di sintesi combina gli spazi urbani corrispondenti ai diversi tratti dei percorsi teorici, contrassegnati dalle loro denominazioni, con le utenze, contrassegnate dalle lettere che ne chiariscono le diverse tipologie e provenienze, e con i relativi pesi che definiscono il livello di frequentazione, e quindi di vulnerabilità, di ogni spazio, e che permettono di elencarli in ordine di priorità. Maggiore è il peso, maggiore è la frequentazione e quindi la vulnerabilità dello spazio analizzato; nel caso in oggetto, si è stilata la priorità in ordine crescente, ma ovviamente l'elenco può anche seguire l'ordine decrescente, che forse fornisce anche una lettura più intuitiva (Fig. 15). La valutazione sintetica può essere espressa facendo riferimento a cinque classi di vulnerabilità: Molto alta - Alta - Media - Bassa - Molto bassa, ogni classe corrisponde a uno dei cinque intervalli di valori definiti in relazione ai livelli di frequentazione e quindi di vulnerabilità (Fig. 16). La definizione degli intervalli di valori è variabile in funzione del numero delle destinazioni scelte, dei percorsi più brevi per raggiungerle e delle utenze considerate. Nel caso di Cave, i valori disponibili per definire gli intervalli sono pochi dato che lo studio pilota esemplificativo è stato condotto in un ambito ridotto. La valutazione sintetica può essere espressa anche secondo tre classi di vulnerabilità: Alta - Media - Bassa; in questo caso le classi corrispondono a intervalli di valori più ampi. Questo secondo tipo di valutazione è stata scelta per definire sia la pericolosità sia la vulnerabilità delle isole urbane di calore (cfr. Par. 7.8.4.1 e Par. 7.8.4.2).

7.6.6.3. La valutazione del rischio "ondate di calore"

Come già spiegato in precedenza (cfr. Par. 3.8), le aree dove intervenire sono individuate sulla base della maggiore o minore presenza di rischio e il rischio viene definito in base alla pericolosità e alla vulnerabilità legate alla presenza di ondate di calore. Nella metodologia generale (cfr. Par. 3.8), si è già detto che, se è presente una sola stazione meteorologica che fornisce i dati a tutto il territorio comunale, come nel caso di Cave, il livello di pericolosità legato alle ondate di calore è lo stesso in tutti gli spazi urbani analizzati, quindi la differenziazione dei livelli di rischio dipende solo dai diversi livelli di vulnerabilità emersi dall'analisi precedente.

Per definire i livelli di rischio connessi alle ondate di calore negli spazi considerati, si è redatta una tabella finale che riporta, in verticale, le denominazioni dei diversi spazi stradali, in orizzontale i risultati delle analisi precedenti,

Spazi urbani	Pericolosità	Vulnerabilità	Rischio
	Peso	Peso	Peso
Piazza del Plebiscito	3	5 ++	15 ++
Piazza G. Garibaldi - Via Scalon Bielli	3	5 +	15 +
Piazzale Unità d'Italia	3	4 ++	12 ++
Piazza delle Erbe	3	4 ++	12 ++
Via della Pace - Piazza del Plebiscito	3	4 ++	12 ++
Piazza G. Garibaldi - Via della Pace	3	4 +	12 +
Via Cavour	3	3 ++	9 ++
Via Roma - Piazza del Plebiscito	3	3 ++	9 ++
Ponte Pedonale	3	3 +	9 +
Via Scalon Bielli - Ponte Pedonale	3	3 +	9 +
Via Indipendenza	3	2	6
Via Concordia	3	2	6
Via Cavour - Piazzale Unità d'Italia	3	1 +	3 +
Via Piè di Palazzo	3	1	3
Via Prenestina Vecchia - Via Roma	3	1	3
Via Prenestina Vecchia	3	1	3

Fig. 17
Definizione del rischio a Cave: elenco degli spazi urbani analizzati, posti in ordine di priorità decrescente, secondo il grado di rischio, valutato sulla base della classe di pericolosità, uniforme in tutti gli spazi, e dei diversi livelli di vulnerabilità e calcolato moltiplicando i due pesi.

Classe di rischio		Intervalli di valori
Molto alto		15 < R ≤ 25
Alto		10 < R ≤ 15
Medio		6 < R ≤ 10
Basso		3 < R ≤ 6
Molto basso		1 < R ≤ 3

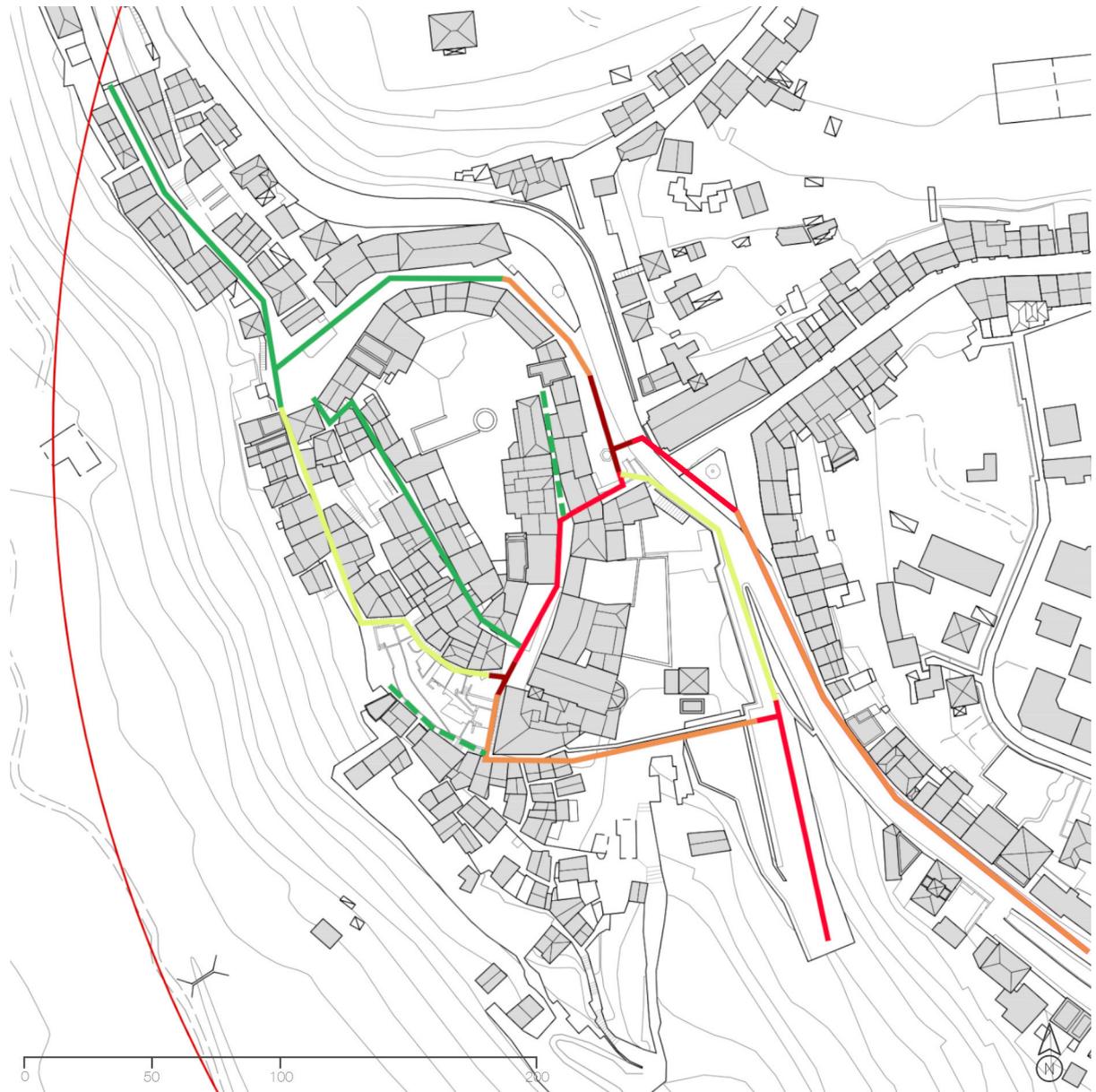
Fig. 18
Valutazione sintetica del rischio espressa utilizzando cinque classi, corrispondenti a cinque intervalli di valori, definiti sulla base dei possibili prodotti della moltiplicazione dei vari pesi assunti dai due fattori: pericolosità e vulnerabilità, ognuno articolato in cinque classi.

Spazi urbani	Classe di rischio	
Piazza del Plebiscito	Molto alto	
Piazza G. Garibaldi - Via Scalon Bielli	Molto Alto	
Piazzale Unità d'Italia	Alto	
Piazza delle Erbe	Alto	
Via della Pace - Piazza del Plebiscito	Alto	
Piazza G. Garibaldi - Via della Pace	Alto	
Via Cavour	Medio	
Via Roma - Piazza del Plebiscito	Medio	
Ponte Pedonale	Medio	
Via Scalon Bielli - Ponte Pedonale	Medio	
Via Indipendenza	Basso	
Via Concordia	Basso	
Via Cavour - Piazzale Unità d'Italia	Basso	
Via Piè di Palazzo	Molto basso	
Via Prenestina Vecchia - Via Roma	Molto basso	
Via Prenestina Vecchia	Molto basso	

Fig. 19
Gli spazi urbani analizzati a Cave sono classificati secondo cinque diverse classi di rischio, identificate da significative tonalità di colore, e sono posti in ordine di priorità decrescente.

Fig. 20

I diversi colori, corrispondenti alle diverse classi di rischio, che distinguono i tratti di percorso che compongono la rete, indicano le priorità di intervento (per identificare gli spazi urbani in planimetria, cfr. Fig.12).



espressi secondo la stessa scala di valori: il risultato del livello di pericolosità, uniforme per tutta l'area, e il risultato del livello di vulnerabilità, articolato in cinque valori e due incrementi, nelle prime due colonne; il prodotto di questi due valori, che indica il valore numerico del rischio, è riportato nella terza colonna. In questo caso, come già detto, è il solo peso della vulnerabilità che, differenziando gli spazi urbani, permette di classificarli secondo diversi gradi di rischio e di ordinarli secondo un ordine di priorità, dal livello di rischio più alto al più basso²² (Fig. 17).

La valutazione sintetica può essere espressa facendo riferimento a cinque classi di rischio: Molto alto - Alto - Medio - Basso - Molto basso, che fanno riferimento a cinque intervalli di valori, in cui sono raggruppati i vari gradi di rischio, assumendo gli intervalli di valori alti come negativi, cioè come indicatori delle classi di rischio più elevato; quando i valori del rischio risultano al limite dell'intervallo, in presenza di incrementi, il valore può essere inserito in via prudentiale, nell'intervallo più alto; le classi sono identificate da diverse gamme di colori (Fig. 18). "I colori

²² Nella esemplificazione su Cave, per la pericolosità si è utilizzato il peso della classe, che è un numero intero, mentre per la vulnerabilità si è preferito utilizzare il numero intero del peso arricchito degli incrementi, che caratterizza l'intervallo di valori corrispondente alla classe; tale scelta è motivata dalla volontà di rappresentare il più possibile le varie classi di rischio, anche in presenza di dati uniformi di pericolosità, per la loro provenienza da una sola centralina meteo, e di intervalli di valori di frequentazione limitati, come nel caso dell'ambito ridotto dello studio pilota.

scelti fanno riferimento a quelli utilizzati nelle lanterne semaforiche ...”²³, che sono colori di percezione istintiva: il rosso, con le sue sfumature, comunica pericolo, e quindi la presenza di rischio e di necessità di azione nell'immediato; il verde, con le sue sfumature, comunica sicurezza, e quindi l'assenza di rischio e di necessità di intervenire. Ovviamente, ove gli intervalli di valore dei rispettivi pesi, definiti per la valutazione della pericolosità e della vulnerabilità, fossero tre, anche i gradi finali del rischio possono essere raggruppati in tre intervalli corrispondenti a tre classi di rischio: Alto - Medio - Basso.

Nel caso di Cave, gli spazi urbani analizzati vengono elencati e graduati in cinque classi di rischio; nell'attribuzione ai vari intervalli di valori di riferimento, si è tenuto conto del peso complessivo, comprensivo degli incrementi, al fine di ottenere una maggiore articolazione e poter avere comunque rappresentate tutte le classi di rischio; la graduatoria, stilata in ordine di rischio decrescente, indica in modo evidente, avvalendosi anche di significative tonalità di colore, quali sono gli spazi urbani dove sarebbe necessario intervenire per prevenire e mitigare il rischio delle ondate di calore (Fig. 19).

Per una lettura immediata dell'ubicazione e della consistenza degli spazi urbani su cui è necessario intervenire, le strade, gli slarghi e le piazze analizzati vengono segnati in planimetria con i colori che corrispondono alle cinque classi di rischio individuate (Fig. 20).

I tratti di percorso che presentano un livello di rischio molto alto sono due; il primo interessa Piazza del Plebiscito, nel tratto davanti al tessuto commerciale, che comprende la fermata del bus (direzione Sud), il bar e l'attraversamento davanti alla Chiesa di Santa Maria; il secondo si trova a Piazza Garibaldi, nel tratto su cui sfociano Via Scaloni Bielli e Via indipendenza, davanti al Comune e alla Parrocchia di Santo Stefano. I tratti di percorso che presentano un livello di rischio alto sono quattro: il tratto che interessa Piazza Garibaldi, verso Via della Pace, e quello di Via della Pace che, attraverso un passaggio voltato, porta verso il bar a Piazza del Plebiscito; il tratto che parte dall'attraversamento davanti alla Chiesa di Santa Maria e porta a Piazza delle Erbe e l'area verde sulla piazza che ospita la fermata del bus (direzione Nord); il tratto che percorre Piazza dell'Unità d'Italia, dove si trova il grande parcheggio, e porta verso il ponte pedonale.

L'approfondimento che sarà descritto successivamente (cfr. Par. 7.8.4) fornirà maggiori informazioni sul soleggiamento e l'ombreggiamento, sull'influenza della ventilazione e dei materiali utilizzati per la pavimentazione negli spazi sopra menzionati, che presentano alti livelli di rischio; tali ulteriori analisi possono maggiormente suffragare questa valutazione iniziale, potendo fornire valutazioni più mirate e precise.

In conclusione, va sottolineato che la definizione del rischio, nel caso delle ondate di calore, può essere più differenziata e mirata soltanto in presenza di più stazioni meteorologiche collocate in aree appropriate, perché soltanto in questo modo possono emergere eventuali differenze nei livelli di pericolosità, secondo l'area in cui gli spazi urbani ricadono, corrispondenti a punti di rilevamento diversi.

²³ La citazione, che concerne la scelta dei colori e le motivazioni a essa legate, è tratta da un testo a cui si fa in parte riferimento anche per la metodologia di valutazione (Martincigh, 2009).

7.7. Le aree di attenzione e le priorità di intervento nel Comune di Cave

7.7.1. Mappe qualitative del rischio

Mauro Saccone

Seguendo le indicazioni illustrate nel capitolo 5, sono state realizzate le mappe dei rischi long-term (ovvero rischio sismico, idrologico, frana) e dei rischi short-term (radon e ondate di calore), considerati nella presente ricerca.

La mappa qualitativa del rischio sismico ($R=P \times V$) evidenzia un'area di massimo rischio (cfr. Par. 7.6.2 Fig. 4), localizzata nel centro storico e lungo il primo tratto di Corso Vittorio Emanuele di via Felice Borghese e di via Cavour, legata principalmente alla tipologia costruttiva delle abitazioni (cfr. Par. 5.3).

Per quanto riguarda il rischio idrologico/idraulico (Fig. 1), la mappa non evidenzia particolari criticità, mentre per il rischio di frana (Fig. 2), l'aggiornamento della Carta Geologica e delle MOPS ha consentito di perimetrare alcune aree caratterizzate da fenomeni di instabilità di versante, in particolare tra via Roma e via di San Lorenzo, e tra via Matteuzzo e via della Selce, aree su cui insistono delle abitazioni e infrastrutture che, pertanto, vengono classificate come ad alto rischio (cfr. Par. 5.5).

Relativamente alla valutazione qualitativa del rischio radon (Fig. 3), come atteso, la mappa evidenzia un rischio concentrato nelle aree del centro storico. Meno prevedibile, al contrario, è che la mappa segnali alcune zone a rischio più a Est intorno a via Madonna del Campo, laddove troviamo una particolare combinazione di terreni composti da rocce vulcaniche ad alta permeabilità su cui sono stati realizzati edifici con funzioni ricettive o produttive anche ai piani terreni. Queste aree dovrebbero essere oggetto di indagini ulteriori qualora interessate da progetti di mitigazione. La mappa speditiva del rischio ondate di calore (Fig. 4), valutato seguendo le indicazioni del paragrafo 5.7, mostra valori alti di rischio in corrispondenza di alcune aree del centro storico, in particolare intorno a piazza del Plebiscito e piazza Garibaldi. I valori ottenuti evidenziano maggior rischio laddove è massima la vulnerabilità, in relazione alla presenza di attività in grado di attrarre popolazione che potrebbe subire danni durante le ore più calde di alcuni giorni dell'anno. Se interessate da progetti di mitigazione queste aree richiederebbero certamente un approfondimento di studi al fine di scongiurare fenomeni di isole di calore e, più in generale, discomfort dei cittadini.

Fig. 1
Mappa qualitativa del rischio idrologico/idraulico a Cave.



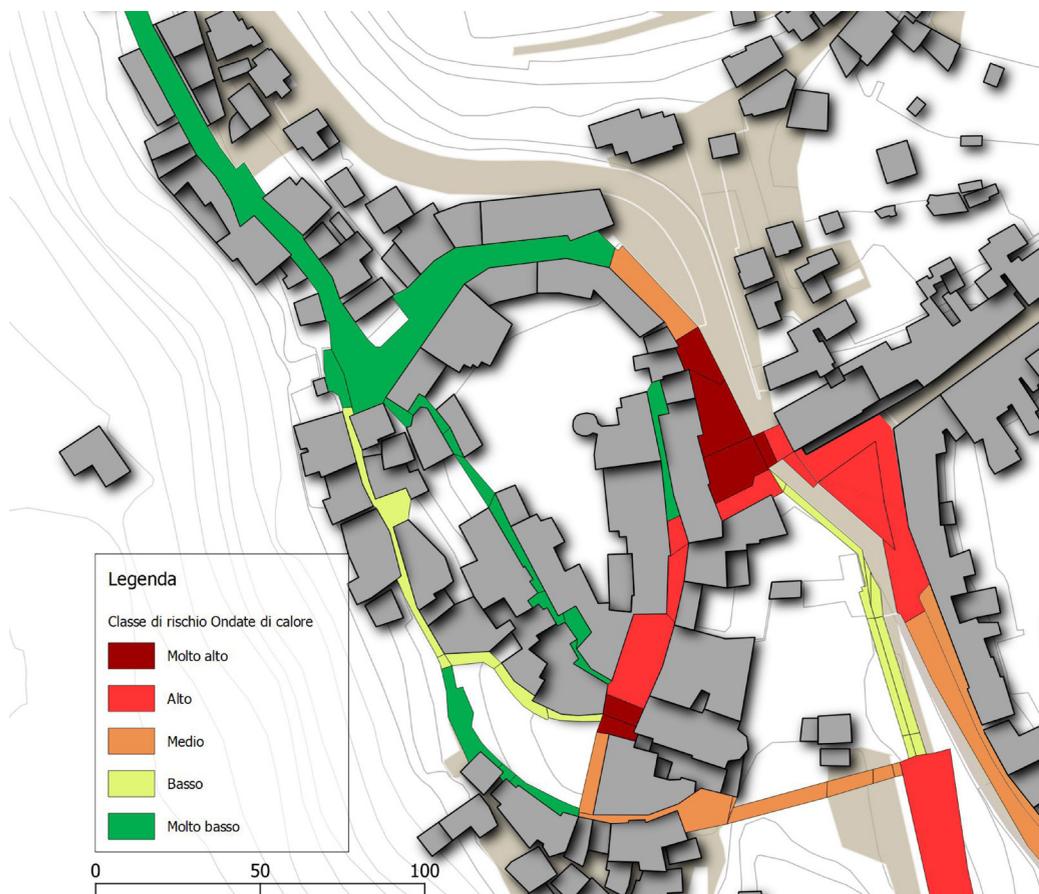


Fig. 2
Mappa qualitativa del rischio di frana a Cave.



Fig. 3
Mappa qualitativa del rischio radon a Cave.

Fig. 4
Mappa speditiva del rischio ondate di calore a Cave.



7.7.2. Individuazione delle aree di attenzione e delle priorità di intervento

Mauro Saccone, Giovanna Spadafora

Seguendo le indicazioni operative contenute nel capitolo 5, le mappe qualitative del rischio sismico, idrologico e da frana, presentate nei precedenti paragrafi, sono state sovrapposte per ottenere una valutazione qualitativa del rischio multi-hazard (cfr. Par. 5.9) estesa a tutto il territorio del Comune di Cave. Da questa sovrapposizione pesata, risulta che l'area con maggiori criticità è quella del centro storico, dove si concentrano rischi sismici e da frana. Su questa "area di attenzione", valutata come area prioritaria per la presenza di numerosi edifici e infrastrutture appartenenti alle SUM, è stata valutata anche la compresenza di rischi short-term, ovvero ondate di calore e radon, per stabilire le priorità di intervento. Su quest'area si potranno concentrare i progetti di mitigazione, integrata e sostenibile, secondo le indicazioni contenute nel capitolo 6.

Poiché gli edifici e le infrastrutture sono schedate all'interno del GIS, grazie a questa prima valutazione, sarà possibile per ciascuno di essi, individuare a quali rischi siano soggetti e in quale percentuale, e procedere così in maniera mirata all'approfondimento delle successive valutazioni dei rischi, concentrando le risorse dove effettivamente necessario. Il progetto di mitigazione potrà così puntare a ridurre tutti i rischi compresenti nell'ottica olistica che ha guidato l'intero progetto.

Quello che emerge da questo studio è che le aree prioritarie si concentrano principalmente nel centro storico e che su alcune di queste vi è una maggiore incidenza anche dei rischi short term. La mappa esprime, quindi, la necessità di intervenire prioritariamente sia sugli edifici che sugli spazi pubblici intorno ad alcuni luoghi, ad esempio piazza Garibaldi, al fine di mitigare anche i rischi connessi al verificarsi del fenomeno dell'isola di calore e di quelli indotti dalla presenza del gas radon.

Tuttavia, gli interventi di mitigazione che il protocollo potrebbe finanziare dovranno basarsi su studi di approfondimento per ciascuno dei rischi compresenti nell'area ed evidenziati dalla mappa sintetica. Il passaggio dalle analisi speditive a quelle quantitative consentirà di elaborare un progetto di mitigazione integrata e sostenibile, per il quale chiedere il finanziamento (cfr. Par. 1.3).

Nei paragrafi che seguono, verranno illustrati alcuni studi di approfondimento condotti sul centro storico di Cave.

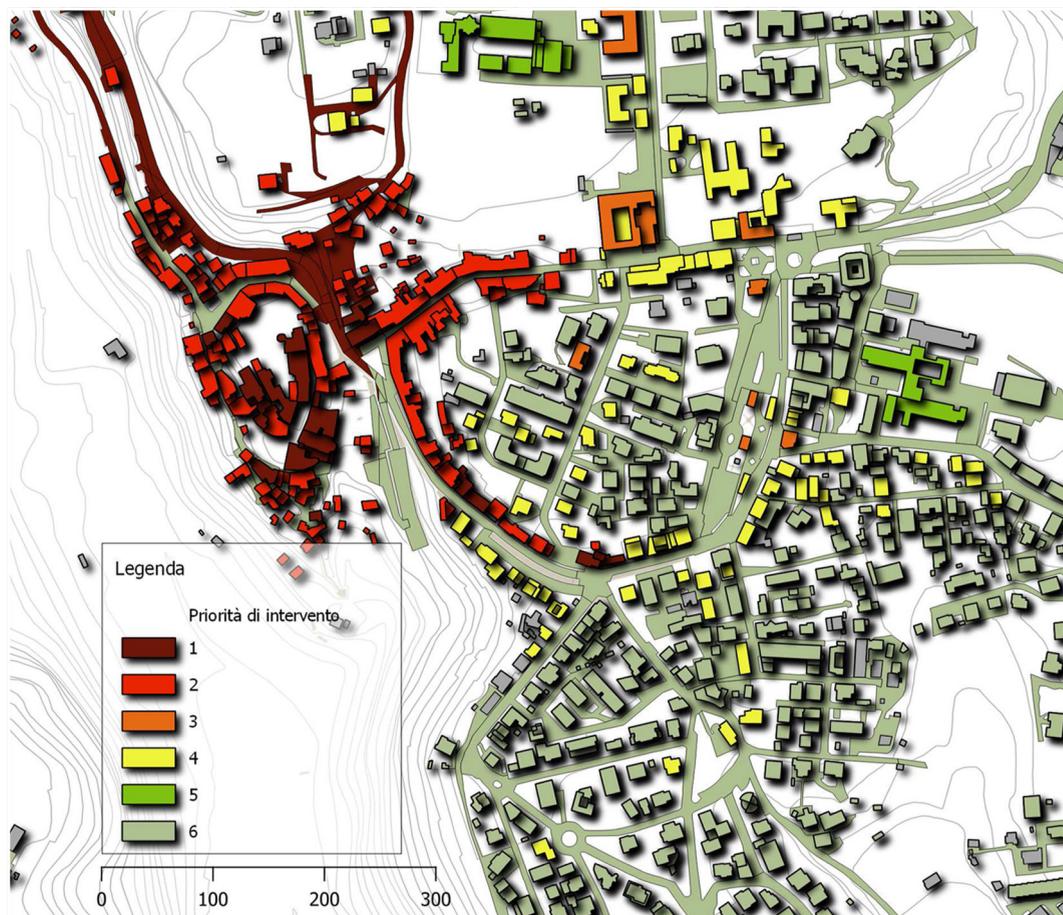


Fig. 5
Prima mappa delle priorità di intervento nell'area analizzata del Comune di Cave. In basso, le singole mappe che concorrono a produrre la mappa di sintesi.

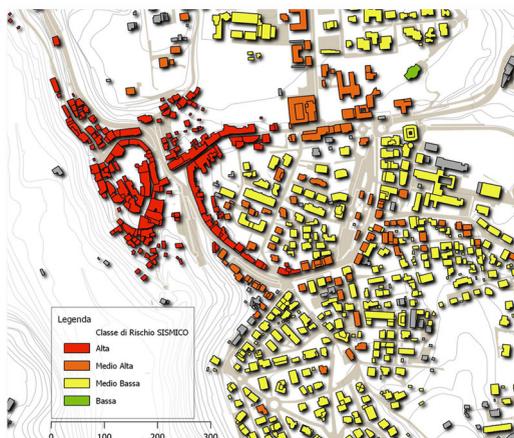


Fig. 6

Mappa delle priorità d'intervento nel Comune di Cave, con l'indicazione delle aree in cui si sommano i rischi short-term radon e/o ondate di calore.



7.8. Approfondimenti tematici sulle prioritarie

7.8.1. Valutazione quantitativa del rischio sismico del centro storico di Cave Martina D'Aversa

7.8.1.1. Pericolosità sismica

L'analisi di pericolosità sismica o *Seismic Hazard Analysis* (SHA) si articola sostanzialmente in due parti, di cui una prima basata sull'individuazione e caratterizzazione delle sorgenti in termini di dimensione e collocazione, cui segue una seconda finalizzata a determinare gli effetti che queste ultime potrebbero provocare in un determinato luogo.

La prima fase è quindi mirata all'inquadramento sismotettonico della zona, in particolare all'identificazione di faglie attive e sorgenti sismiche presenti in quel determinato areale, punti di accumulo di stress in cui il movimento dei due blocchi contrapposti può innescare degli eventi sismici. Tale inquadramento non può essere tuttavia utilizzato da solo, dal momento che molte sono le faglie ancora non note e dunque un'analisi della pericolosità di un sito fondata sulle faglie conosciute è sconsigliata in quanto governata dall'incertezza.

Un buon quadro dell'effettivo potenziale sismogenetico dell'area adiacente al sito, invece, può essere costruito se integrato con un elenco dei terremoti storici più rappresentativi nella zona, a partire dalla suddivisione in zone sismo-genetiche operata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), nota come ZS9. Per determinare il potenziale sismico delle zone identificate come sufficientemente vicine al sito di interesse tanto da condizionarne la sismicità, si fa riferimento ad opportune relazioni di regressione (Gutenberg-Richter).

Al fine di determinare i corretti input da fornire alla struttura nell'ambito di un'analisi dinamica mirata a conoscerne il comportamento sotto l'effetto di un sisma, si possono utilizzare due differenti approcci, indicati come *Deterministic Seismic Hazard Assessment* (DSHA) e *Probabilistic Seismic Hazard Assessment* (PSHA). Entrambi gli approcci richiedono che siano preliminarmente individuate e caratterizzate le sorgenti sismiche in grado di produrre un effetto significativo nel sito considerato.

Il DSHA valuta lo scenario di scuotimento del terreno ricercando, sulla base della sismicità dell'area, il terremoto storico che ha provocato la massima accelerazione attesa al sito, mediante l'impiego di specifiche equazioni predittive (*Ground Motion Prediction Equations* - GMPEs) e delle relative deviazioni standard. In questo approccio non si tiene conto però delle probabilità di accadimento del terremoto designato, né del parametro di incertezza.

Il PSHA, al contrario, fornisce dei risultati in termini di probabilità o frequenza di eccedenza di un certo moto del terreno in un certo intervallo di tempo, incorporando così le informazioni sull'incertezza e risultando direttamente efficace per la stima del rischio sismico. L'utilizzo di GMPEs è richiesto anche in questo caso. Il limite di questo approccio risiede nell'incapacità di fornire informazioni sulla coppia magnitudo e distanza capaci di provocare lo scenario sismico valutato. In base a quanto detto, nell'ambito della determinazione dell'input necessario per lo studio dell'amplificazione del moto del suolo, in realtà i due criteri menzionati non vanno interpretati come due percorsi contrapposti, mutualmente esclusivi, ma anzi è bene che interagiscano tra loro, così da poterne valorizzare i punti di forza (Sabetta, 2012).

Un possibile modo per integrare gli approcci probabilistico e deterministico è operare la disaggregazione nell'ambito dell'analisi del tipo PSHA (Bazzurro, Cornell, 1999). Attraverso la disaggregazione è possibile valutare il contributo alla pericolosità sismica di differenti scenari magnitudo-distanza, associandovi un certo valore di incertezza, così da fornire indicazioni per la scelta del terremoto di scenario.

Gli spettri di risposta ottenuti sono stati poi confrontati con quello ricavato seguendo le istruzioni fornite dalle Norme Tecniche Italiane (NTC18) per il calcolo dell'input sismico alla base delle strutture su cui si intende procedere all'analisi sismica. Il moto di input che si utilizza nelle analisi numeriche può essere espresso sia sotto forma di spettro di risposta elastico sia, come previsto dalle NTC18, «mediante analisi dinamiche al passo con l'uso di accelerogrammi, artificiali, simulati o naturali». Una scelta possibile potrebbe essere pertanto ricercare accelerogrammi compatibili con i terremoti di riferimento evidenziati dall'analisi svolta. Tale analisi non è tuttavia stata reputata necessaria nell'ambito della trattazione svolta.

In accordo con quanto previsto dal metodo di Cornell (1968), i passi per la determinazione della pericolosità sismica in un approccio probabilistico sono:

1. individuazione delle zone sorgenti e inquadramento sismotettonico dell'area (c);
2. definizione delle leggi di occorrenza dei terremoti per ciascuna zona sorgente identificata (0);
3. valutazione della propagazione attraverso l'uso di opportune GMPEs (e) ovvero la definizione delle modalità di trasmissione dell'energia dalla sorgente al sito;
4. calcolo probabilistico dell'hazard, tenendo conto di possibili effetti locali capaci di modificare lo scuotimento al suolo atteso. Dall'analisi fatta per ogni zona di interesse si estrapolano i dati utili per il software, in modo da poter calcolare la probabilità che la grandezza rappresentativa della severità del sisma (PGA), superi un certo valore nel sito in esame. Ovvero si vuole calcolare la probabilità che, in un punto qualsiasi appartenente alle zone sismogenetiche interessate, si verifichi un evento che arrivi al sito di Cave, secondo l'equazione predittiva di Akkar and Bommer 2010.

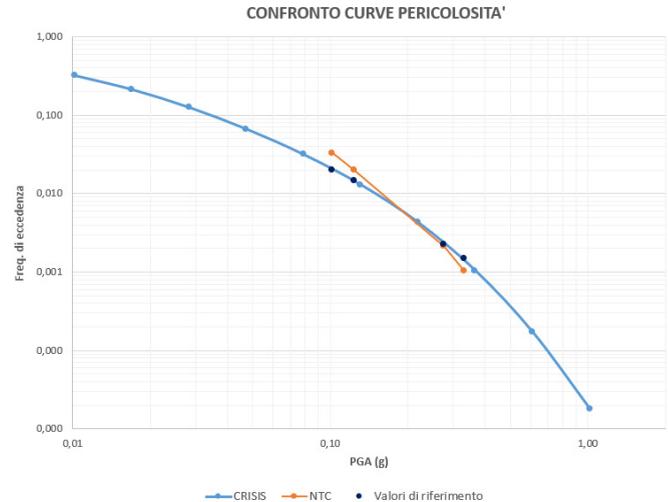
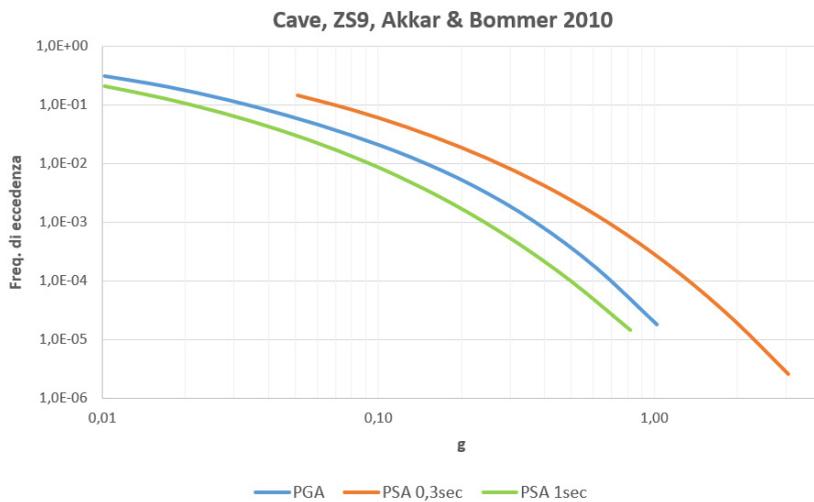
Per l'applicazione del metodo di Cornell, si è utilizzato il software CRSIS. L'analisi condotta per la città di Cave è in riferimento ad un terreno di categoria C, ovvero depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. Le curve di pericolosità ottenute sono rappresentate nella figura 11.

Per completezza, in figura 12 si riporta un grafico in cui si confrontano le curve di pericolosità ($T=0s$), quella ricavata con il software R-CRISIS e quella ricavata tramite le norme tecniche per le costruzioni 2018 (Fig. 12). Si può osservare che non c'è una perfetta congruenza tra le due curve ma sono comunque confrontabili e questo deriva sicuramente dalle approssimazioni che esegue il software.

7.8.1.2. Vulnerabilità

Per la valutazione della vulnerabilità degli edifici in muratura presenti nel centro storico di Cave, si è utilizzata una metodologia speditiva, la quale trae spunto da un metodo sviluppato in letteratura da Lagomarsino e Cattari nel progetto di ricerca europeo SYNER-G *Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk* (pubblicato in Pitilakis, Crowley, Kaynia, 2014).

La procedura redatta da questi autori si basa su una tassonomia e dipende dai dati disponibili nell'area di studio. Questa consiste nell'individuare gruppi di edifici caratterizzati da un comportamento sismico omogeneo, che è noto per danni empirici su strutture simili, modelli analitici adeguati o giudizio di esperti.



in alto, da sinistra

Fig. 11

Curve di pericolosità per $T=0$ s, $T=0.3$ s, $T=1$ s.

Fig. 12

Confronto curve pericolosità ricavata con R-CRISIS 2020 e con NTC 2018.

La definizione delle curve di fragilità per gli edifici in muratura è un compito arduo perché si riferisce a una grande varietà di costruzioni, che sono caratterizzate da tipologie di muratura e sistemi strutturali molto differenti, che si distribuiscono attraverso periodi storici e aree geografiche.

La muratura è un materiale composito e le proprietà meccaniche sono legate non solo a quelle dei costituenti, blocchi (pietra, mattoni pieni di argilla, tufo, ecc.) e malte (fango, calce, calce idraulica, cemento), ma anche alle dimensioni e alla forma dei blocchi, all'incastro.

Con riferimento ai sistemi strutturali, le costruzioni antiche sono molto diverse dagli edifici in muratura ingegnerizzata, come le murature confinate o armate. I primi sono stati costruiti con un approccio empirico e sono solitamente vulnerabili, prima di tutto ai meccanismi locali (comportamento fuori dal piano); tuttavia in zone ad alta sismicità sono stati adottati particolari specifici per evitare danneggiamenti (tiranti metallici, cinghie in legno, contrafforti, collegamenti di diaframmi orizzontali a pareti in muratura, ecc.). Questi ultimi sono stati specificatamente concepiti per resistere al terremoto, dopo un'osservazione dettagliata dei danni.

Tra gli edifici in muratura si possono considerare anche le strutture miste, come le tradizionali costruzioni miste muratura-legno o le piuttosto moderne costruzioni miste in cemento armato. I primi possono avere diverse configurazioni:

- a) edifici in muratura rinforzata con legno, con travi orizzontali in legno a vari livelli e collegate per spessore (ad esempio nell'area balcanica, greca e turca);
- b) edifici in muratura con intelaiatura in legno (ad esempio pareti frontali di edifici in stile pombalino in Portogallo, o edifici più piccoli con muri portanti principali collegati e controventati con elementi in legno, in tutto il mondo);
- c) edifici con pareti in muratura ai piani inferiori e intelaiature in legno a quelli superiori.

Oltre alla muratura confinata, la diffusione della tecnologia in cemento armato nella prima metà del XX secolo ha portato alla nascita di diverse tipologie di edifici misti muratura-ca, risultati di scelte funzionali e spesso abbastanza vulnerabili:

- muri perimetrali in muratura e infissi interni in cemento armato;
- sopraelevazione di edifici in muratura con strutture intelaiate in cemento armato.

Un'altra importante distinzione è tra edifici in muratura ordinari e monumentali. Quest'ultima categoria raccoglie particolari tipologie di beni, dal punto di vista morfologico, quali: chiese, moschee, torri, minareti, fortezze, ecc.; hanno un comportamento sismico specifico e, solitamente, una maggiore vulnerabilità, come testimoniato dagli ultimi eventi sismici.

Questo lavoro si concentra principalmente sugli edifici ordinari in muratura.

Nella Tabella 7 vengono elencate le principali caratteristiche utili per la tassonomia degli edifici in muratura, secondo l'approccio generale proposto nel progetto SYNER-G. Ogni edificio è descritto da una stringa di codici, separati da barre e trattini. Le barre contrassegnano le principali categorie della tassonomia:

1. **FRM** - Force Resisting Mechanism - Meccanismo di resistenza alla forza;
2. **FRMM** - Force Resisting Mechanism Material - Materiale del meccanismo di resistenza alla forza;
3. **P** - Plan - Pianta;

4. **E** - *Elevation - Elevazione*;
5. **CO** - *Cladding and Openings - Rivestimenti e aperture*;
6. **DM** - *Detailing and Maintenance - Dettagli e manutenzione*;
7. **FS** - *Floor System - Sistema a pavimento*;
8. **RS** - *Roof System - Sistema tetto*;
9. **HL** - *Height Level - Livello di altezza*;
10. **CL** - *Code Level - Livello di codice*.

nella pagina a fianco,

Tab. 7

Tassonomia SYNER-G per edifici in muratura.

All'interno di ciascuna categoria, l'elenco delle possibili opzioni è definito da appositi acronimi; una classificazione e sotto classificazione più dettagliata (Tabella 7) è correlata ad alcune delle opzioni di categoria e può essere indicata nella tassonomia separando l'elenco dei codici con trattini.

Nel caso di edifici in muratura il meccanismo di resistenza alla forza (FRM) è sempre il sistema di pareti portanti (BW), che può presentare comportamenti sismici molto diversi a seconda della geometria e dei dettagli costruttivi. Solitamente si fa riferimento al meccanismo fuori dal piano (OP) e nel piano (IP), a seconda dei collegamenti e della distanza tra le pareti in muratura, nonché della rigidità dei diaframmi orizzontali. Se si può ipotizzare un comportamento sismico globale (*box-type*), è possibile individuare delle sottoclassi: ogni singola parete può essere analizzata da un modello a telaio equivalente (EF) o da modelli semplificati che assumono le ipotesi di forte (SSWP) o deboli (WSSP) pennacchi. La scelta del modello più affidabile dipende dalle informazioni disponibili.

La categoria FRMM considera diversi materiali strutturali: muratura non armata (URM); muratura rinforzata (RM); muratura confinata (CM); muratura con intelaiatura in legno (TM); muratura mista con cemento armato (MRC). In particolare, nel caso di muratura URM, è importante una classificazione dettagliata, con riferimento ai blocchi e alle caratteristiche della malta, poiché le proprietà meccaniche variano in un ampio intervallo.

La configurazione del piano edilizio (P) è molto importante per la vulnerabilità sismica, sia con riferimento alla regolarità (regolare R o irregolare IR) sia alla possibile interazione con altri edifici (Isolati I o Aggregati in blocchi urbani A). Queste informazioni sono utili per affrontare i meccanismi di collasso più probabili (classificazione BW).

Le informazioni sulla regolarità in elevazione (E) possono aiutare nella definizione del fattore di comportamento e della duttilità, a causa della possibile diversa localizzazione della storia debole.

Il ruolo degli elementi non strutturali è quasi trascurabile negli edifici in muratura, ma è importante conoscere la distribuzione regolare e la percentuale di aperture (CO). Una distribuzione regolare (RO) può promuovere il comportamento WSSP, che è caratterizzato da una maggiore capacità di spostamento ma una forza inferiore rispetto al caso SSWP.

Inoltre, un'alta percentuale di aperture (H%) al piano di base, tipica nel caso dei negozi, può produrre un meccanismo di piano debole, che ha una bassa capacità di spostamento.

Altra categoria importante, in particolare nel caso degli edifici URM, è la qualità dei dettagli costruttivi e lo stato di manutenzione, che costituisce un presupposto essenziale per poter valorizzare il primo aspetto (DM). L'attribuzione di Dettagli di Alta Qualità (HQD) deve considerare l'aderenza alle regole dell'arte, che complessivamente definiscono un codice di pratica locale riferito a diverse scale di costruzione: la muratura (modo per assicurare il collegamento ad incastro e trasversale), il muro (distribuzione di aperture, architravi, ecc.) e la costruzione globale (collegamenti muro-muro e diaframmi muro-orizzontali).

La presenza sistematica di tiranti efficaci (WT) o di cerchiatura (WRB) può impedire meccanismi fuori piano e aumentare la resistenza e la duttilità dei pennacchi, per il comportamento in piano;

Il *Floor System* (FS) influenza il comportamento sismico, con riferimento sia alla sua massa (che aumenta le azioni sismiche orizzontali) sia alla sua rigidità (che consente un certo grado di redistribuzione delle azioni sismiche orizzontali tra le pareti verticali). Una classificazione approssimativa si ottiene distinguendo tra Rigido (R) e Flessibile (F); l'attribuzione deve considerare non solo la rigidezza ma anche l'efficacia del collegamento con pareti verticali. Una classificazione più dettagliata può considerare anche il materiale e la configurazione (cioè la presenza di volte in muratura può indurre anche spinte orizzontali).

Informazioni analoghe sono richieste sul *Roof System* (RS), che è un parametro importante per la valutazione della vulnerabilità, per la sua massa (amplificata dinamicamente per la sua posizione alla sommità dell'edificio) e per l'eventuale presenza di una spinta orizzontale (Tr), che può indurre meccanismi di collasso locale.

Il livello di altezza (HL) è molto importante perché influenza molto la vulnerabilità sismica ed è sempre disponibile o molto facilmente rilevabile. Le possibili categorie (L, M, H e Ta) devono essere ridefinite, in termini di numero di piani, per gli edifici in muratura, perché sono mediamente inferiori agli edifici in ca o in acciaio. Infine, la categoria *Code Level* (CL) è molto importante e deve essere opportunamente definita nel caso di edifici

Categoria		Classificazione
FRM	Bearing Walls (BW) - <i>Pareti Portanti</i>	Out of plane (OP) - <i>Fuori dal piano</i> In plane (IP) - <i>Nel piano</i> Equivalent Frame (EF) - <i>Telaio Equivalente</i> Weak Spandrels Strong Piers (WSSP) - <i>Deboli pennacchi e pilastri forti</i> Strong Spandrels Weak Piers (SSWP) - <i>Forti pennacchi e pilastri deboli</i>
FRMM	Unreinforced Masonry (URM) - <i>Muratura non armata</i> Reinforced Masonry (RM) - <i>Muratura rinforzata</i> Confined Masonry (CM) - <i>Muratura confinata</i>	Blocks - Blocchi Adobe (A) - <i>Argilla, sabbia e paglia</i> Fired brick (FB) - <i>Mattone Cotto</i> Soft Stone (SS) - <i>Pietra Morbida</i> Hard Stone (HS) - <i>Pietra Dura</i> Regular Cut (RC) - <i>Taglio regolare</i> Uncut (UC) - <i>Taglio irregolare</i> Rubble (RU) - <i>Macerie</i> Hollow clay tile (HC) - <i>Mattonelle cave di argilla</i> High % of voids (H%) - <i>Alta % di vuoti</i> Low % of voids - <i>Bassa % di vuoti</i> Concrete Masonry Unit (CMU) - <i>Unità di muratura in calcestruzzo</i> Autoclaved Aerated Concrete (AAC) - <i>Calcestruzzo aerato autoclavato</i> Mortar - Malta Lime mortar (LM) - <i>Malta di calce</i> Cement mortar (CM) - <i>Malta cementizia</i> Mud mortar (MM) - <i>Malta di fango</i> Hydraulic mortar (HM) - <i>Malta idraulica</i> Strengthening - Rinforzi Strengthened masonry (Sm) - <i>Muratura rinforzata</i> Timber - Legno Confined and braced masonry panels (TC) - <i>Pannelli in muratura confinati e controventati</i> Horizontal timber tie (TT) - <i>Legame orizzontale</i> Concrete and reinforcement - Calcestruzzo e rinforzo Average Strength (20-50 MPa)(ASC) - <i>Forza media</i> Low Strength (<20 MPa)(LSC) - <i>Bassa resistenza</i> Vertical Reinforcement Bars (RBV) - <i>Barre di rinforzo verticali</i> Vertical and Horizontal Reinforcement Bars (RBVH) - <i>Barre di rinforzo verticali e orizzontali</i>
P	Regular (R) - <i>Regolare</i> Irregular (IR) - <i>Irregolare</i>	Isolated (I) - Isolati Aggregate (A) - <i>Aggregati in blocchi urbani</i>
E	Regular geometry (R) - <i>Geometria regolare</i> Irregular geometry (IR) - <i>Geometria irregolare</i>	
CO	Regular openings (RO) - <i>Aperture regolari</i> Irregular openings (IRO) - <i>Aperture irregolari</i>	High % voids (H%) - <i>Alta % di vuoti</i> Low % voids (L%) - <i>Bassa % di vuoti</i>
DM	Details - Dettagli High quality details (HQD) - <i>di alta qualità</i> Low quality details (LQD) - <i>di bassa qualità</i> Maintenance - Manutenzione Good Maintenance(HM) - <i>buona manutenzione</i> Low Maintenance (LM) - <i>ridotta manutenzione</i>	Tie rods - Tiranti Without tie rods (WoT) - <i>Senza tiranti</i> With tie rods (WT) - <i>Con tiranti</i> Ring beams - Cerchiatura Without ring beams (WoRB) - <i>Senza Cerchiatura</i> With ring beams (WRB) - <i>Con Cerchiatura</i>
FS	Rigid (R) - <i>Rigido</i> Flexible (F) - <i>Flessibile</i>	Reinforced concrete (RC) - <i>Cemento Armato</i> Steel (S) - <i>Acciaio</i> Timber (T) - <i>Legno</i> Vault (V) - <i>Volta</i>
RS	Peaked (P) - <i>Picco</i> Flat (F) - <i>Piatto</i> Gable End Walls (G) - <i>Pareti frontali</i>	Material - Materiale Timber (Ti) - <i>Legno</i> Corrugated Metal Sheet (CMS) - <i>Lamiera gregata</i> Reinforced Concrete (RC) - <i>Cemento armato</i> Thatch (Th) - <i>Paglia</i> Thrusting roof (Tr) - <i>Tetto sporgente</i> Unthrusting roof (UTr) - <i>Tetto antiscivolo</i>
HL	Low-rise (1-2) (L) - <i>Bassi</i> Mid-rise (3-5) (M) - <i>Medi</i> High-rise (6-7) (H) - <i>Alti</i> Tall (8+) (Ta) - <i>Indefinita</i>	Number of stories (indicate the number) - <i>Indicare il numero di piani</i>
CL	Pre-Code (PC) - <i>Pre-codice</i> None (NC) - <i>Nessuno</i> Low (<0.1 g) (LC) - <i>Basso</i> Moderate (0.1-0.3 g) (MC) - <i>Moderato</i> High (>0.3 g) (HC) - <i>Alto</i>	Pre-code Aseismic Construction - Costruzione antisismica pre-codificata Low Level (LAC) - <i>livello basso</i> Moderate Level (MAC) - <i>livello moderato</i> High Level (HAC) - <i>livello alto</i>

in muratura, solitamente vecchi e non antisismici (PC); in questo caso è utile stimare la cultura sismica locale, che è alta (HAC) nelle zone frequentemente colpite da terremoti. Per gli edifici moderni, progettati considerando un codice sismico (LC, MC e HC), le categorie dovrebbero considerare principalmente la pericolosità sismica utilizzata per la progettazione, tenendo conto anche dell'accuratezza delle disposizioni del codice.

La valutazione della vulnerabilità secondo Lagomarsino e Cattari richiede di raggruppare gli edifici che hanno un comportamento sismico simile al fine di valutare i danni e le perdite dell'ambiente costruito a causa di una data valutazione di pericolosità. A tal fine la tassonomia proposta non può essere utilizzata direttamente, perché le informazioni disponibili sono sempre incomplete e, comunque, una suddivisione troppo dettagliata del patrimonio edilizio considerato nell'analisi dei rischi potrebbe risultare inutile e di difficile gestione.

A seconda dei dati disponibili e dopo uno studio preliminare delle caratteristiche dell'ambiente costruito nell'area urbana oggetto di indagine, il primo passo della valutazione di vulnerabilità consiste nel procedere ad una corretta classificazione degli edifici.

Tra le informazioni disponibili, vanno individuati i parametri che maggiormente influenzano il comportamento sismico. Ogni classe di vulnerabilità, che può essere sinteticamente denominata con un numero o un breve acronimo, è chiaramente identificata da una precisa tassonomia, ovvero un elenco di categorie e relative informazioni di classificazione. La mancanza di informazioni nella tassonomia significa che non sono disponibili dati per descrivere meglio gli edifici; quindi, le curve di fragilità devono rappresentare la vulnerabilità media di un ampio insieme di configurazioni. Al contrario, se viene escluso qualche parametro, tutte le altre opzioni dovrebbero essere elencate nella tassonomia.

a) *Curve di fragilità tratte da letteratura*

Nello studio effettuato nel progetto di ricerca SYNER-G da Lagomarsino e Cattari, vengono proposte delle curve di fragilità per alcune diffuse tipologie di edifici in muratura.

Vengono considerate quattro classi di edifici URM (Muratura non armata), relative a diversi tipi di blocchi (vedi Tabella 7 per il significato dei tag della tassonomia): macerie (HS-RU), pietra con taglio irregolare (HS-UC), mattone cotto (FB), mattonelle cave di argilla (HC). Inoltre, viene considerata una malta di calce (LM) per i primi tre tipi di blocco e per i secondi viene ipotizzata malta cementizia (CM).

Le diverse classi di altezza esaminate dagli autori mostrano l'influenza di questo parametro nel comportamento sismico di una struttura, con riferimento ai quattro stati di danno DS. Riassumendo, si sono studiate dieci classi differenti, definite dai seguenti elenchi di tag della tassonomia:

- 1) **URM1-L:** BW-IP/URM-HS-RU-LM/R/R/x/LQD-WoT-WoRB/F-T/P-T/L/PC
- 2) **URM2-L:** BW-IP/URM-HS-UC-LM/R/R/x/LQD-WT/F-T/P-T/L/PC
- 3) **URM2-M:** BW-IP/URM-HS-UC-LM/R/R/x/LQD-WT/F-T/P-T/M/PC
- 4) **URM3-M:** BW-IP/URM-FB-LM/R/R/x/LQD-WT/R-S/P-RC/M/PC
- 5) **URM3-H:** BW-IP/URM-FB-LM/R/R/x/LQD-WT/R-S/P-RC/H/PC
- 6) **URM3-M-IR:** BW-IP/URM-FB-LM/IR/R/R/x/LQD-WT/R-S/P-RC/M/PC
- 7) **URM3-H-IR:** BW-IP/URM-FB-LM/IR/R/R/x/LQD-WT/R-S/P-RC/H/PC
- 8) **URM4-M:** BW-IP/URM-FB-LM/R/R/x/HQD-WRB/R-RC/P-RC/M/PC
- 9) **URM4-H:** BW-IP/URM-FB-LM/R/R/x/HQD-WRB/R-RC/P-RC/H/PC
- 10) **URM5-M:** BW-IP/URM-HC-CM/R/R/x/HQD-WRB/R-RC/P-RC/M/PC

La metodologia speditiva tratta dal metodo di Lagomarsino e Cattari tiene conto delle dieci classi definite dagli autori.

Ai singoli edifici presenti nel centro storico di Cave si è cercato di associare una delle precedenti classi.

Si è osservato che nessuna di queste risulta essere identica a quelle ricavate dai dati osservati durante il sopralluogo; quindi, si è cercato di collegare ad ogni edificio quella che più si avvicinasse.

Si sono quindi considerate solamente le classi compatibili con le tipologie murarie presenti nel centro storico, ovvero:

- 1) **URM1-L**
- 2) **URM2-L**
- 3) **URM2-M**

Poiché dal sopralluogo è risultato che gli edifici erano caratterizzati da una tipologia muraria mista, per ogni edificio si è deciso di considerare la tipologia di muratura prevalente che nella maggior parte dei casi risulta essere muratura irregolare di tufo.

Per capire a quale delle prime tre classi facessero parte gli edifici si sono osservate le categorie DM (*Detailing and Maintenance*) e HL (*Height Level*).

In particolare, inizialmente si è determinato se negli edifici vi fosse la presenza di presidi sismici (WT) o l'assenza degli stessi (WoT).

Nel secondo caso (WoT), ovvero assenza di presidi sismici, si è quindi considerato l'edificio appartenente alla prima classe **URM1-L**.

Nel caso in cui gli edifici siano stati dotati di presidi sismici (WT) si è osservata la loro altezza, in particolare si sono considerate le seguenti sottoclassi:

- Low-rise (1-2) (L) – Bassi - **URM2-L**;
- Mide-rise (3-5) (M) – Medi - **URM2-M**.

Poiché dai dati raccolti nel centro storico risultano anche edifici di altezza superiore a 5 piani e quindi ricadenti nella classe High-rise (6-7) (H), si è deciso di considerare quest'ultimi appartenenti alla sottocategoria M in modo tale da riconoscere l'edificio come appartenente alla classe URM2-M.

Ciò può essere osservato nella pianta elaborata (Fig. 14), dove è stata riportata la classificazione associata a ciascuna particella.

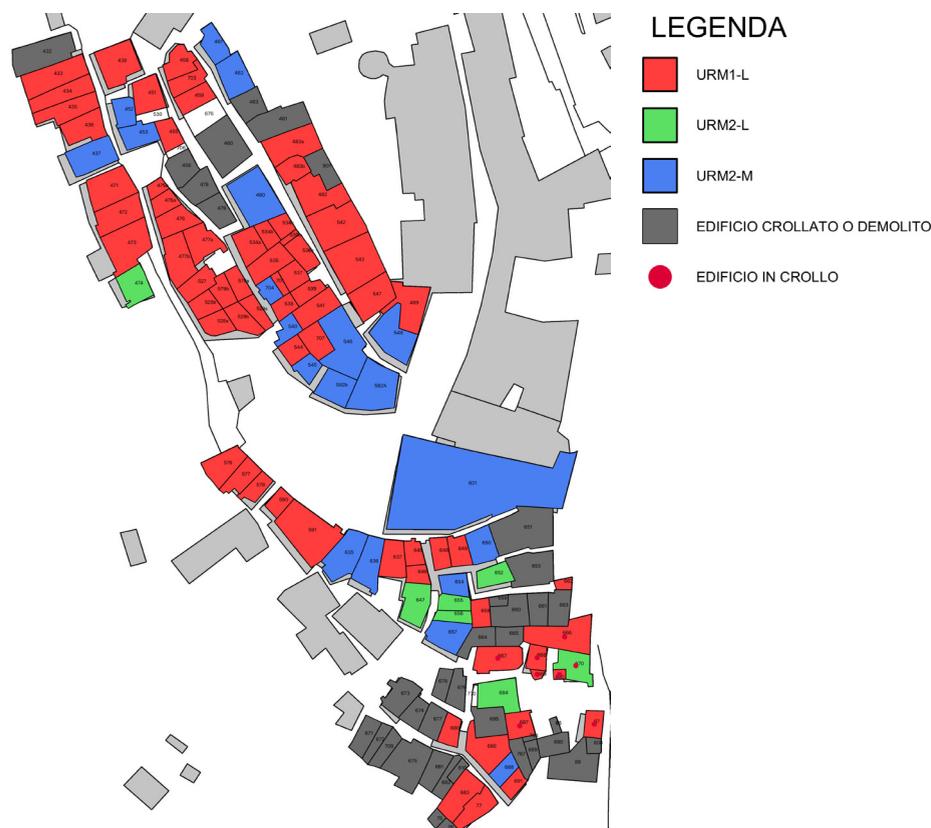
Ogni curva fornisce la probabilità che si raggiunga uno stato limite generico LS dato un valore della misura di intensità IM, la qual può essere valutata dall'equazione:

$$p_{LS}(im) = P(d > D_{LS}|im) = P(im_{LS} < im) = \Phi\left(\frac{\log\left(\frac{im}{IM_{LS}}\right)}{\beta_{LS}}\right)$$

dove:

- d è uno spostamento rappresentativo del comportamento sismico dell'edificio;
- D_{LS} rappresenta il *Damage State* e gli LS rappresentano le soglie che separano i vari stati di danno. Di solito vengono considerati cinque stati di danno: DS1, DS2, DS3, DS4, DS5 che vanno da stato di danno leggero al collasso;
- IM_{LS} è il valore mediano della distribuzione log-normale della misura dell'intensità im_{LS} che produce la soglia LS ;
- β_{LS} è la dispersione.

Fig. 14
Classificazione edifici attraverso la tassonomia del progetto SYNER-G.



Una curva di fragilità è quindi definita da due parametri: IM_{LS} e β_{LS} . L'intensità media IM_{LS} è stata assunta pari al PGA_{LS} e corrisponde al 50% di avere un certo stato di danno DS. L'uso di PGA come IM implica una più ampia dispersione β_{LS} della curva di fragilità, a causa dell'incertezza nella forma spettrale.

Si riportano nelle figure 15, 16 e 17 le curve di fragilità ottenute per le tre classi di edifici considerate in questa sezione.

a fianco, da sinistra

Fig.15

Curve di fragilità ottenute per la classe URM1-L.

Fig. 16

Curve di fragilità ottenute per la classe URM2-L.

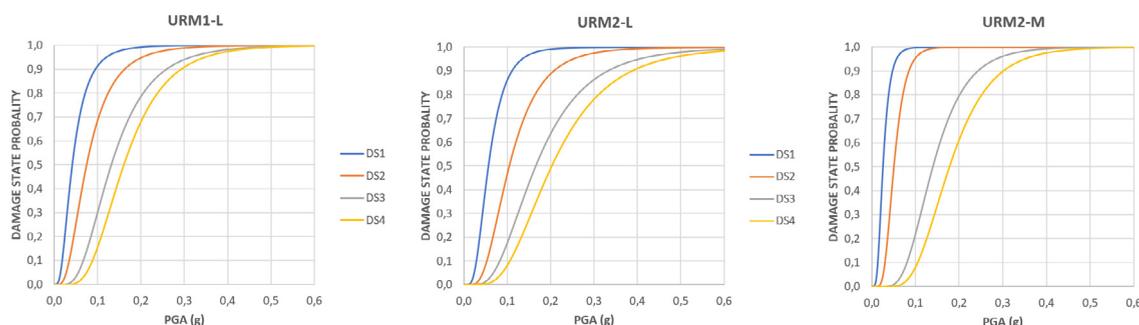
Fig. 17

Curve di fragilità ottenute per la classe URM2-M.

in basso

Fig 18

Classificazione del danno a edifici in muratura.



b) *Definizione degli stati di danno e dei livelli di prestazione:*

Nell'analisi del rischio sismico lo scenario dell'ambiente costruito è espresso in termini di *Damage States* (DS), che rappresentano una descrizione qualitativa del danno complessivo negli elementi strutturali e non strutturali dell'edificio.

Metodi empirici descrivono lo stato di danno DS attraverso un'osservazione qualitativa del danno, sulla base della distribuzione e della gravità delle fessure, secondo forme e schizzi specifici; a tal fine, le moderne scale macrosismiche possono essere un buon riferimento.

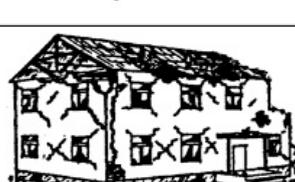
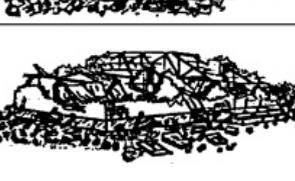
Sono passati 23 anni dalla pubblicazione della versione inglese della scala EMS-98 utilizzata, quale indispensabile strumento di misura equivalente tra la scala del danneggiamento e la scala dell'intensità della scossa per eventi sismici pari o superiori al grado 5.

I curatori della pubblicazione in lingua italiana Andrea Tertulliani (INGV), Raffaele Azzaro (INGV) e Giacomo Buffarini (ENEA) hanno sottolineato quanto sia importante questa traduzione. Difatti in Italia la scala EMS-98 è più usata rispetto ad altri paesi. Il modo in cui un edificio si deforma sotto il carico di un terremoto dipende dal tipo di struttura. La scala EMS-98 in prima istanza individua due diverse categorie, l'una che raggruppa gli edifici in muratura e l'altra gli edifici in cemento armato.

Per entrambe le categorie di strutture, viene eseguita una classificazione del danno sulla base di cinque gradi:

- **DS1**, danno da trascurabile a leggero (nessun danno strutturale, leggero danno non strutturale);
- **DS2**, danno moderato (leggero danno strutturale, moderato danno non strutturale);
- **DS3**, danno da sostanziale a grave (moderato danno strutturale, grave danno non strutturale);
- **DS4**, danno molto grave (grave danno strutturale, danno non strutturale molto grave);
- **DS5**, collasso (danno strutturale molto grave).

La classificazione del danno a edifici in muratura è riportata in figura 18.

Classificazione del danno a edifici in muratura	
	Grado 1: Danno da trascurabile a leggero (nessun danno strutturale, leggero danno non strutturale) Crepe capillari su pochissimi muri. Caduta di piccoli pezzi di intonaco. Caduta di pietre non fissate dalla parte superiore degli edifici in pochissimi casi.
	Grado 2: Danno moderato (leggero danno strutturale, moderato danno non strutturale) Lesioni in molti muri. Caduta di pezzi di intonaco piuttosto grandi. Parziale collasso di comignoli.
	Grado 3: Danno da sostanziale a grave (moderato danno strutturale, grave danno non strutturale) Lesioni larghe diffuse sulla maggior parte dei muri. Tegole si staccano. Comignoli si frantumano alla base; cedimento di singoli elementi non strutturali (tramezzi, cornicioni).
	Grado 4: Danno molto grave (grave danno strutturale, danno non strutturale molto grave) Importanti cedimenti dei muri; parziale cedimento strutturale di tetti e solai.
	Grado 5: Distruzione (danno strutturale molto grave) Collasso totale o quasi totale.

7.8.1.3. Rischio sismico a Cave

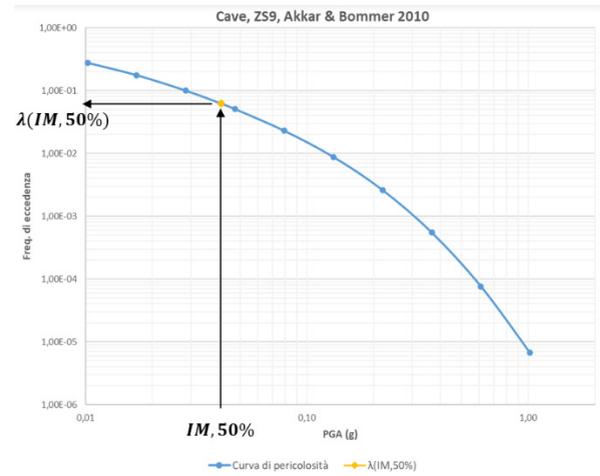
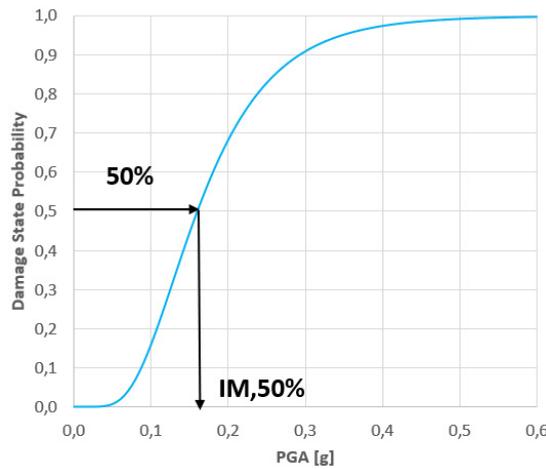
Il rischio sismico, inteso come il calcolo della frequenza media annua di superamento λ di un certo stato limite strutturale LS, è stato valutato attraverso l'equazione di Jalayer e Cornell 2003.

Dal grafico della curva di pericolosità, determinata nell'analisi della valutazione della pericolosità sismica di Cave con tempo di esposizione pari ad 1 anno (modello di attenuazione Akkar and Bommer, 2010), si è individuato il punto corrispondente a λ (IM 50%) (Figg. 19, 20).

a sinistra

Fig.19
Calcolo valore IM,50%
URM1-L DS1.

Fig. 20
Calcolo valore λ (IM,50%)
URM1-L DS1.



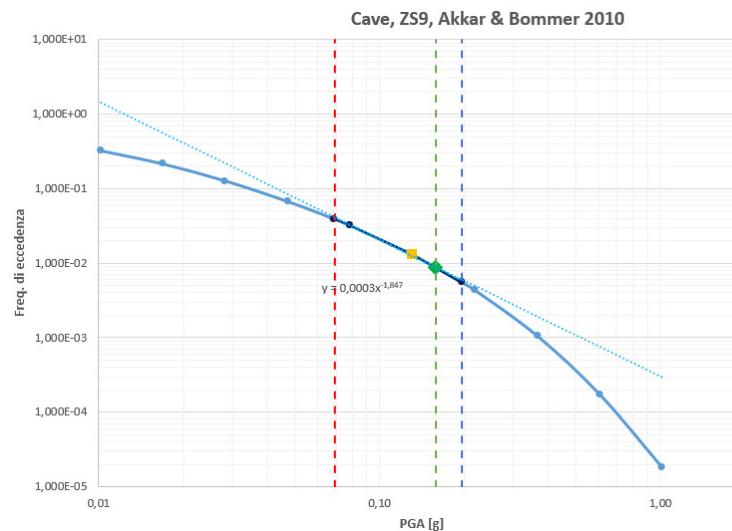
Si è linearizzata la curva considerando il limite minimo e massimo dell'accelerazione relativi agli stati limite di operatività (SLO) e di collasso (SLC), e si è valutata la pendenza che permette di valutare λ [LS]. I limiti delle accelerazioni orizzontali a_g derivano dal foglio Excel del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (*Spettri NTC08* - Tabella 8).

Tabella 8
Limiti delle accelerazioni orizzontali.

a_g [g] SLO	a_g [g] SLV	a_g [g] SLC
0,069	0,158	0,197

La curva di pericolosità linearizzata nel piano logaritmico (Fig. 21) ha la seguente equazione $K_0(PGA)^k$ dove K_0 rappresenta l'intercetta e k è la pendenza.

Fig. 21
Curva di pericolosità linearizzata nel piano log-log URM1-L DS1.



Si riportano di seguito (Tabella 9) i risultati ottenuti per ogni classe URM e per ogni stato di danno DS.

λ (LS)	URM1-L	URM2-L	URM2-M
DS1	1,67E-01	7,96E-02	2,04E-01
DS2	6,61E-02	3,18E-02	7,90E-02
DS3	2,11E-02	1,34E-02	1,58E-02
DS4	1,28E-02	8,03E-03	9,34E-03

Tabella 9
Rischio sismico:
risultati del metodo
speditivo quantitativo

Si osserva che allo stato di danno di collasso DS4 è associata una frequenza media annua più piccola. In particolare, confrontando le classi Low-rise, ossia URM1-L e URM2-L che differiscono rispettivamente per assenza (WoT) e presenza (WT) di presidi sismici, si ha una frequenza media annua minore, e quindi un tempo di ritorno più elevato, per gli edifici con presenza di presidi sismici. Questo perché la presenza di quest’ultimi porta ad un miglioramento della risposta sismica globale. Mentre confrontando le classi che prevedono la presenza di presidi sismici (WT), ossia URM2-L e URM2-M, si ha una frequenza media annua più alta e quindi un tempo di ritorno inferiore, per gli edifici con altezza media. Questo perché una maggiore elevazione comporta una variazione della risposta sismica significativa. Si può concludere quindi che gli edifici del centro storico del Comune di Cave hanno un’elevata vulnerabilità già a partire da stati di danno lievi (D1) per i quali la frequenza media annua di superamento massima è estremamente elevata, relativamente agli edifici URM1-L. Per le altre tipologie le cose migliorano di poco.

7.8.2. Valutazione secondo il metodo analitico del rischio sismico del centro storico di Cave: Palazzo Zoppetti
Martina D’Aversa

Al fine di valutare la valenza del metodo speditivo per il calcolo del rischio sismico si sono eseguite valutazioni più articolate su un edificio presente nel centro storico di Cave. L’edificio scelto è situato in Via Scaloni Bielli ed è lo storico Palazzo Zoppetti, adibito a prima sede municipale nel 1871. Si è deciso di studiare tale edificio in quanto questo è pressoché distaccato dal resto degli immobili come si può osservare nella figura 22 seguente.

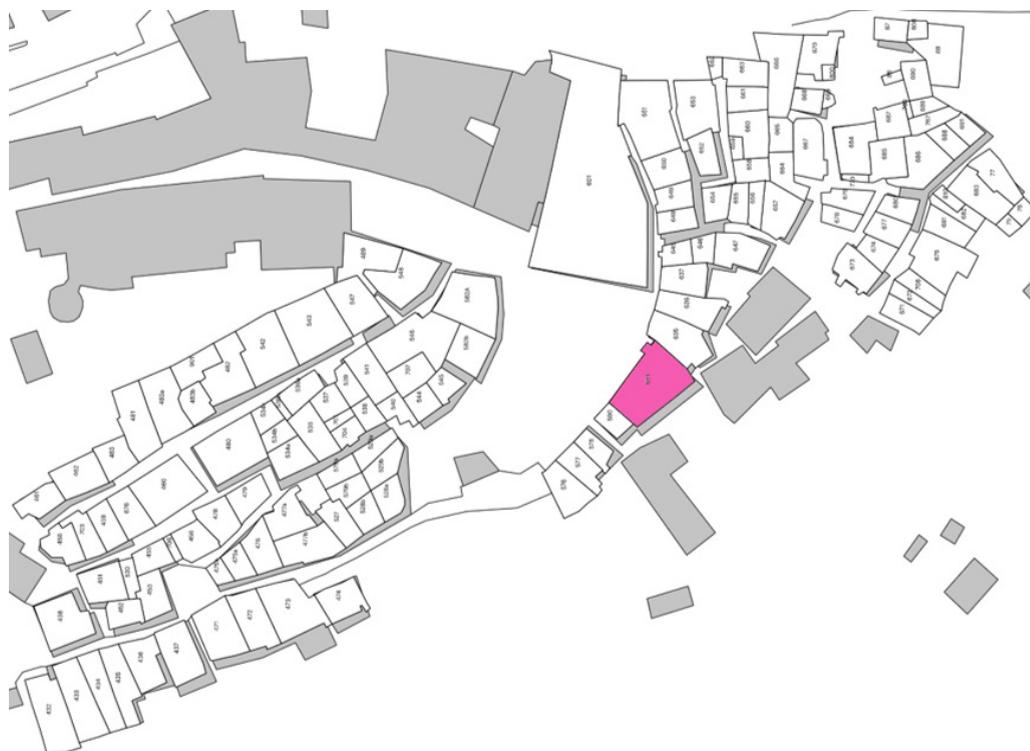


Fig. 22
Particella 591:
Palazzo Zoppetti.

Il fronte del fabbricato è composto da due piani con quattro finestre ciascuno, mentre sulla facciata retrostante ne presenta originariamente tre, con al pian terreno, alla quota di Piazza del Giglio, l'accesso diretto alle cantine, recentemente in disuso, ma storicamente utilizzate per il trattamento delle castagne, prodotto tipico di Cave. Al fine di poter eseguire un'analisi strutturale del palazzo è stata eseguita una modellazione agli elementi finiti attraverso il software Midas Gen.

In una struttura storica, con irregolarità e asimmetrie costruttive, il modello ad elementi finiti che si utilizza semplifica fortemente la struttura, con la conseguente necessità di adottare idonei coefficienti di sicurezza che tengano in conto l'incertezza conoscitiva della geometria, oltre che la schematizzazione delle caratteristiche meccaniche, di vincolo e di carico applicate.

Quando si ha a che fare con strutture storiche, inoltre, queste possono presentare disomogeneità nell'uso dei materiali nelle murature, forti irregolarità dovute anche a deformazioni non elastiche per via di interventi di manutenzione avvenuti nel corso degli anni e difficilmente individuabili o quantificabili.

Per la modellazione del palazzo oggetto di studio, si è utilizzata una modellazione al continuo sotto forma di elementi bidimensionali di tipo "plate", questo perché la tipologia di struttura scelta presenta fasce e setti a disposizione irregolare ed un modello a telaio equivalente potrebbe risultare uno schema troppo semplificato.

A partire dalla planimetria, si è supposta una suddivisione interna dei muri di spina che tenesse in conto i meccanismi locali che si è soliti osservare in questo tipo di strutture.

Fig. 23
Planimetria Palazzo Zoppetti.

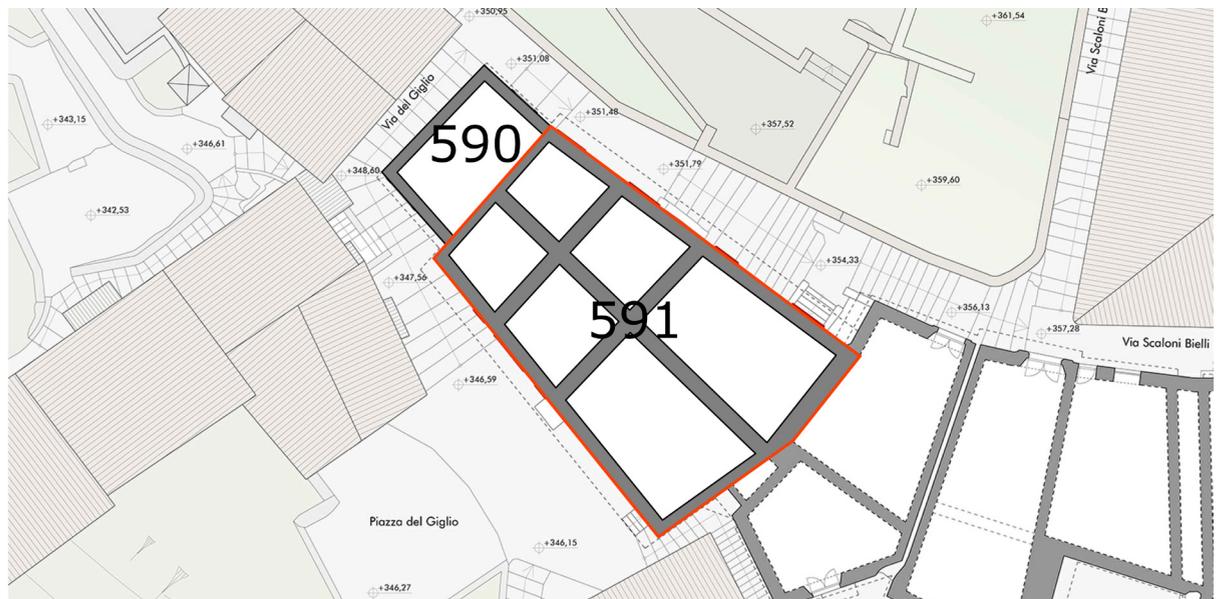
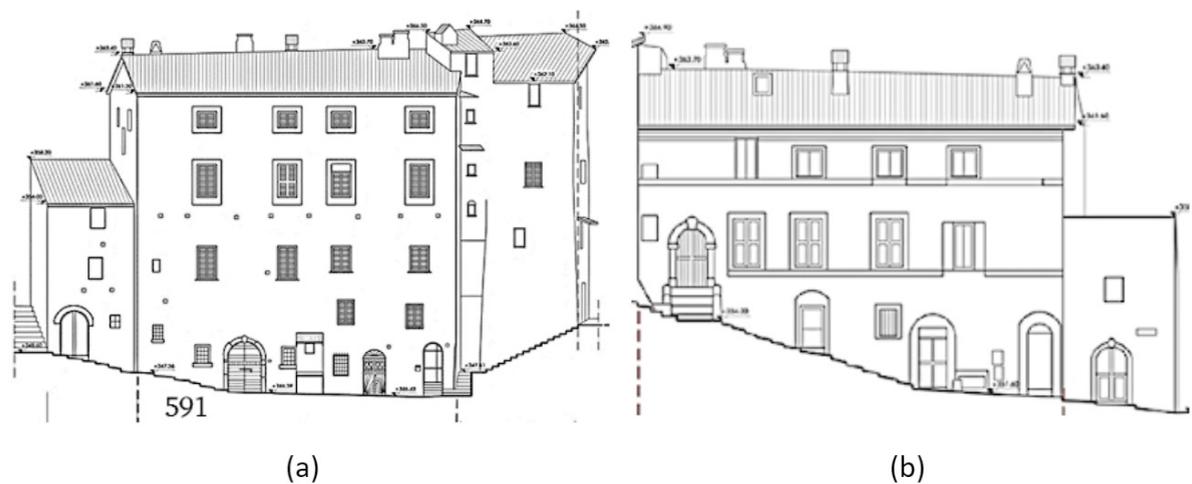


Fig. 24
(a) Prospetto Retro: Sud-Ovest;
(b) Prospetto Fronte: Nord-Est.
Le immagini non sono in scala.



Dai prospetti dell'edificio è stato possibile tracciare sul software Autodesk Autocad, in modalità "Modellazione 3D", un modello tridimensionale del palazzo (Fig. 25) attraverso l'uso di soli elementi linea, unici elementi riconosciuti dal software di calcolo utilizzato dopo averli esportati. Questo per ottenere lo scheletro geometrico della struttura che, dopo l'importazione nel software MIDAS Gen, è stato utilizzato per la creazione delle superfici. In particolare, è stata tracciata la linea media di ciascun maschio murario, in modo da individuare agevolmente anche gli spessori da attribuire a ciascuna superficie.

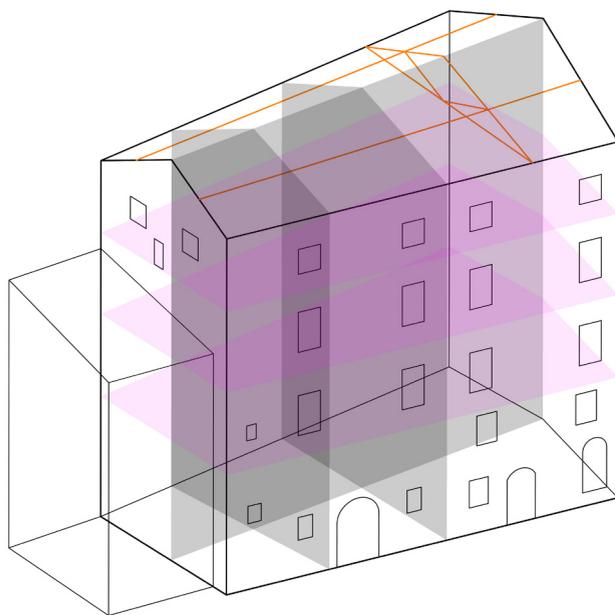


Fig. 25
Modello geometrico tridimensionale disegnato in Autocad (vista Ovest).

Nel modello 3D è riportata anche la particella adiacente 590, in quanto è bene tenere conto delle interazioni possibili derivanti dalla sua contiguità strutturale. Non è invece riportata la particella adiacente 635 in quanto si considera facente parte di altro aggregato edilizio (tra la particella 591 e 635 è presente un passaggio tamponato). In questa rappresentazione secondo superfici è assente il solaio ligneo di copertura. Non è stato possibile utilizzare un "plate" per rappresentarlo in quanto i vertici delle falde del tetto non risultano essere complanari.

Per non trascurare la presenza del solaio di copertura, sono state quindi rappresentate nel modello le travi principali e la capriata che lo sorreggono, andando poi ad applicare dei carichi uniformemente distribuiti che ne simulassero la reale presenza.

La valutazione delle caratteristiche della muratura è stata svolta tenendo in conto che non è stata fatta alcuna prova di sorta. Ration per cui, in accordo con la normativa, si ricade nel livello di conoscenza *LC1* a cui corrisponde un fattore di confidenza *FC* pari a 1.35, un valore minimo per la resistenza nell'intervallo, dato dalla tabella della norma relativa alla "muratura irregolare di pietra tenera", e un valore medio per quanto riguarda il modulo elastico (Fig. 26).



Fig 26
Parte della facciata in cui è visibile il materiale.

7.8.2.1. Calcolo delle curve di fragilità con metodo analitico

Per il calcolo delle curve di fragilità si è scelto di utilizzare il metodo analitico sviluppato da Lagomarsino e Cattari (pubblicato in Pitilakis, Crowley, Kaynia, 2014), basato su un approccio statico non lineare.

Metodo N2 per calcolo della curva SDOF bilineare

Si è valutata la domanda di spostamento utilizzando il metodo N2, descritto al §C7.3.4.2, della Circolare del 2019, il quale si basa sull'ipotesi che la risposta del sistema MDOF (*Multiple Degree Of Freedom*) possa essere associata alla risposta di un sistema SDOF (*Single Degree Of Freedom*) equivalente. Questo metodo è applicabile solo nel caso in cui il comportamento delle costruzioni, sotto la componente del terremoto, sia governato da un modo di vibrare naturale principale caratterizzato da una significativa massa partecipante. Il metodo, denominato N2, si rifà al principio formulato da Pater Fajfar: «A Non linear Analysis Method for Performance Based Seismic Design».

Alla base del Metodo N2 si trovano essenzialmente due ipotesi fondamentali:

- il comportamento del sistema reale a più gradi di libertà è governato principalmente da un unico modo di vibrare fondamentale;
- la forma del modo di vibrare fondamentale rimane invariata durante l'analisi.

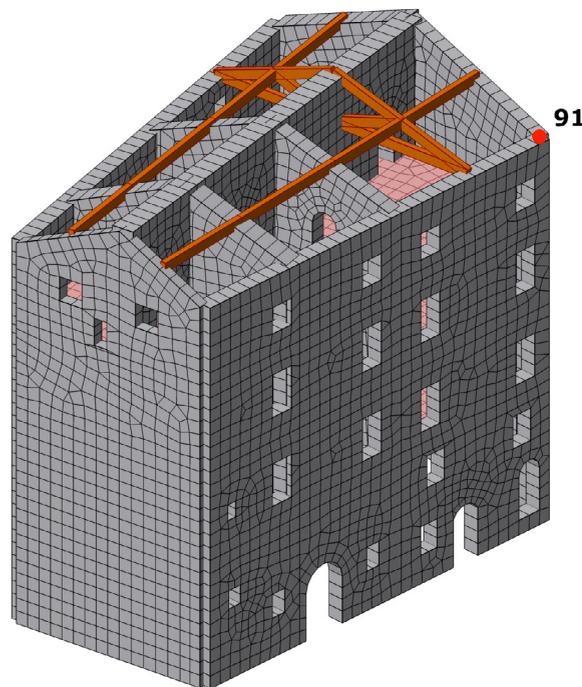
Qualora l'edificio non rispetti queste condizioni si renderà necessario utilizzare altri metodi di applicazione dell'analisi statica non lineare. In particolare, il venir meno delle due condizioni comporta rispettivamente l'esigenza di considerare i contributi di più modi di vibrare e l'utilizzo di distribuzioni di forze diverse per considerare l'effettivo modo di deformarsi della struttura.

Una volta definito il sistema SDOF equivalente, e calcolato il suo periodo proprio, è possibile, con l'utilizzo dello spettro di risposta elastico, determinare lo spostamento massimo che il sistema deve essere in grado di sopportare e da qui dedurre il corrispondente spostamento massimo richiesto al sistema reale MDOF.

Scelto un punto rappresentativo del comportamento strutturale dell'edificio, ovvero un punto di controllo, le forze orizzontali vengono scalate, mantenendo invariati i rapporti relativi, in modo da far crescere monotonicamente lo spostamento orizzontale del punto di controllo fino a raggiungere il collasso strutturale. Il punto di controllo scelto in questo caso è il nodo 91 (Fig. 27).

Fig. 27

Punto di controllo scelto.

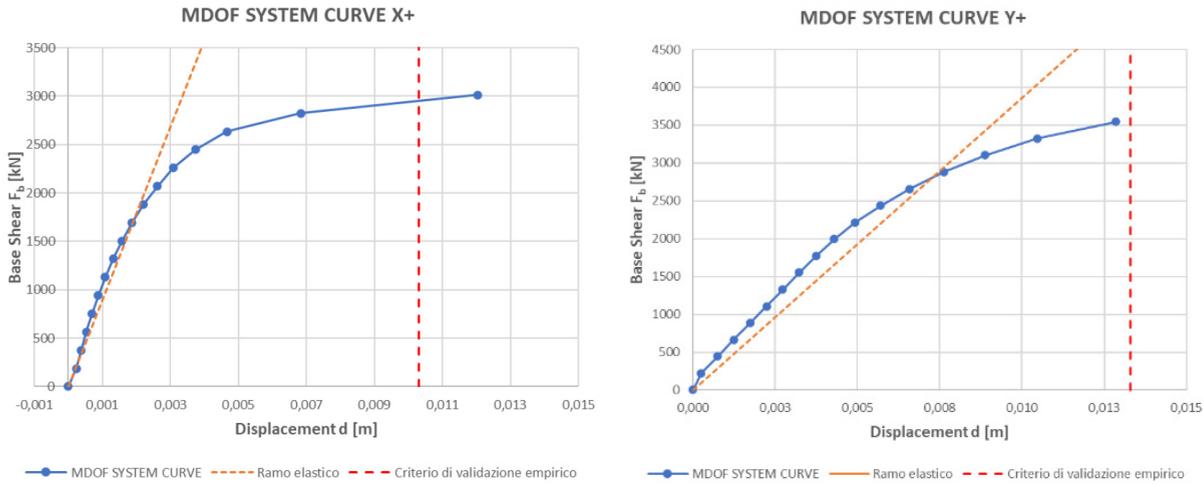


Il risultato ottenuto dall'analisi è la curva non lineare, detta di capacità, che lega il taglio alla base, pari alla risultante delle forze applicate, allo spostamento del punto di controllo.

L'andamento del ramo elastico è stato determinato dal modello elastico, ovvero senza la presenza delle non linearità del materiale, con un'analisi dinamica a spettro di risposta andando a leggere lo spostamento e la forza richiesti nella fase elastica.

La pendenza di questa retta risulta approssimare bene l'andamento iniziale della curva di capacità determinata (Figg. 28, 29).

Individuata la curva di capacità occorre associare al sistema strutturale un sistema equivalente ad un grado di libertà.



da sinistra,
Fig. 28
Multiple Degree of
Freedom X+.

Fig. 28
Multiple Degree of
Freedom Y+.

Di seguito sono riportati i passaggi analitici utili a comprendere come si sviluppa il procedimento.

Si parte dall'equazione del moto del modello piano MDOF:

$$M \ddot{U} + R = - M I a$$

dove M , \ddot{U} ed R rappresentano rispettivamente la matrice diagonale delle masse, il vettore degli spostamenti e quello delle forze interne. I è il vettore unitario ed a è l'accelerazione sismica.

Assumendo che la forma del modo di vibrare rimanga invariata nel tempo si definisce il vettore degli spostamenti come segue:

$$U = \phi d_c$$

in cui ϕ è il vettore degli spostamenti di piano corrispondenti al modo di vibrare fondamentale normalizzato rispetto allo spostamento del punto di controllo e d_c è lo spostamento del punto di controllo.

Il vettore delle forze statiche orizzontali F , utilizzate nell'analisi pushover, è definito come segue:

$$F = f M \phi$$

La forza orizzontale F_i , applicata al livello i -esimo dell'edificio, risulta quindi proporzionale alla componente ϕ_i del vettore ϕ ed alla massa di piano m_i e vale:

$$F_i = f m_i \phi_i$$

Le forze interne risultano pari ai carichi statici applicati esternamente, per cui, sostituendo le relazioni sopra indicate nell'equazione iniziale e moltiplicando entrambi i membri per ϕ^T , si ottiene:

$$\phi^T M \phi d_c + \phi^T M \phi f = - \phi^T M I a$$

Attraverso ulteriori passaggi, qui omessi, si giunge all'equazione del moto del sistema SDOF:

$$m^* d^* + F^* = - m^* a$$

dove:

- m^* è la massa del sistema equivalente SDOF e vale:

$$m^* = \Phi^T M I = \sum_i m_i \Phi_i$$

- d^* ed F^* rappresentano invece, rispettivamente, lo spostamento e la forza nel sistema equivalente. Essi sono legati ai corrispondenti valori del sistema reale dalle relazioni seguenti:

$$d^* = \frac{d_c}{\Gamma}$$

$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma}$$

dove:

- F_b è il taglio alla base del sistema reale MDOF e vale:

$$F_b = \sum_i F_i = \Phi^T M I f = f \sum_i m_i \Phi_i$$

Γ , denominato “fattore di partecipazione modale”, è il fattore che permette di effettuare il passaggio dal sistema reale a più gradi di libertà al sistema ad un unico grado di libertà a comportamento bi-lineare equivalente ed è definito come segue:

$$\Gamma = \frac{\Phi^T M I}{\Phi^T M \Phi} = \frac{\sum_i m_i \Phi_i}{\sum_i m_i \Phi_i^2}$$

Una volta individuato, sulla curva $F_b - d_c$, il valore della resistenza massima F_{bu} , le coordinate del punto di snervamento del sistema equivalente bi-lineare si determinano mediante le relazioni seguenti:

$$d_y^* = \frac{F_y^*}{k^*}$$

$$F_y^* = \frac{F_{bu}}{\Gamma}$$

dove k^* è la rigidezza secante al sistema equivalente, ovvero la tangente dell'angolo individuato dal tratto obliquo della bilatera.

In definitiva occorre sostituire alla curva di capacità del sistema equivalente una curva bilineare avente un primo tratto elastico ed un secondo tratto perfettamente plastico.

Vi sono più modi di procedere, nel caso in esame si è proceduto con il definire tracciando la secante alla curva di capacità nel punto corrispondente ad un taglio alla base pari a 0,7 volte il taglio massimo ed individuando il valore di F_y^* come intersezione della secante con una retta orizzontale disposta in modo da avere l'uguaglianza delle aree sottese dalla curva $F^* - d^*$ e dalla curva bilineare fino al punto di spostamento ultimo del sistema (Fig. 30, 31).

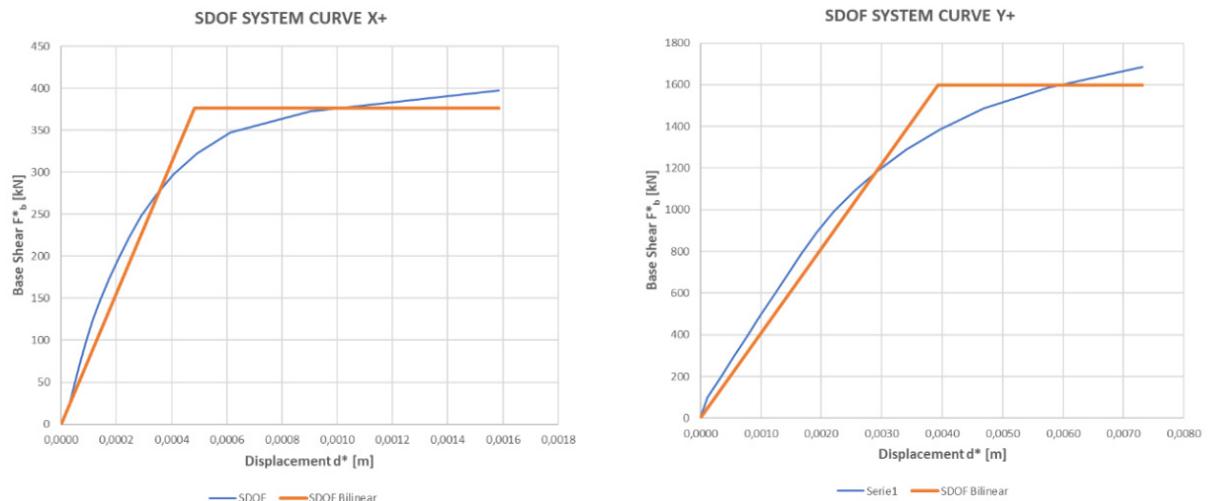
da sinistra

Fig. 30

Diagramma bilineare equivalente X+.

Fig. 31

Diagramma bilineare equivalente Y+.



Nota la curva caratteristica del sistema SDOF, il suo periodo proprio elastico risulta essere:

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$$

Infine, per poter confrontare la capacità con la domanda, occorre trasformare il diagramma di capacità forza-spostamento in un diagramma accelerazione-spostamento, applicando la relazione seguente:

$$S_a = \frac{F^*}{m^*}$$

in cui S_a rappresenta l'accelerazione spettrale.

Per poter confrontare la capacità offerta dalla struttura con la domanda propria dell'evento sismico è necessario trasformare lo spettro di risposta elastico dalla relazione accelerazione-periodo a quella accelerazione-spostamento (Fig. 32).

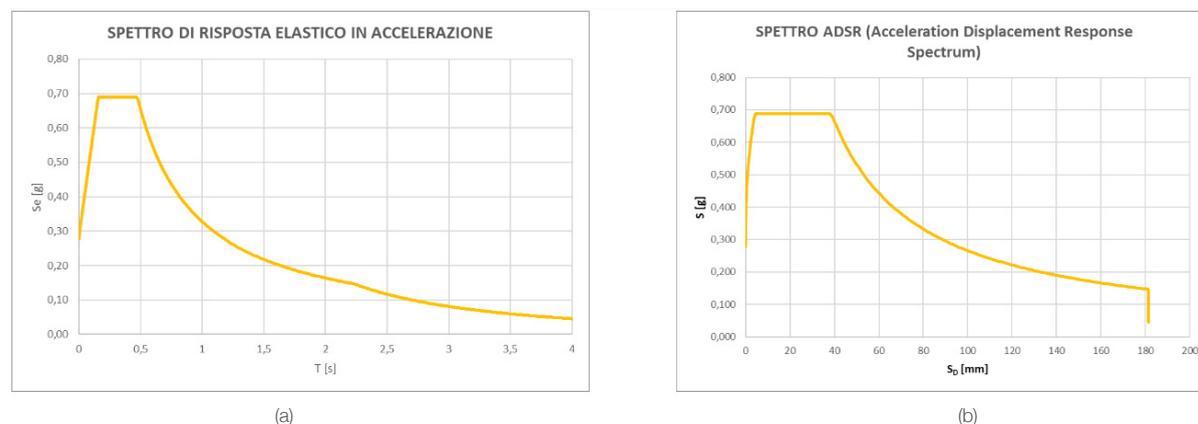


Fig. 32
Trasformazione dello spettro elastico in accelerazione (a) in spettro accelerazione-spostamento (b).

Anche la bilatera del sistema equivalente, ottenuta a partire dalla curva di capacità, deve essere riscritta secondo la relazione accelerazione-spostamento dividendo le ordinate per la massa partecipante.

La relazione che lega lo spettro elastico in accelerazione-periodo con quello in formato accelerazione-spostamento è la seguente:

$$S_{de} = \frac{T^2}{4\pi^2} S_{ae}$$

7.8.2.2 Definizione degli stati di danno e dei livelli di prestazione

Nell'analisi del rischio sismico lo scenario dell'ambiente costruito è espresso in termini di *Damage States* (DS). Nei metodi analitici, se è disponibile un modello numerico dettagliato dell'edificio, il danno in ogni elemento strutturale è ottenuto attraverso un'analisi statica o dinamica non lineare e potrebbe essere fatta una sorta di attribuzione dello stato del danno virtuale. Tuttavia, i modelli numerici forniscono variabili di danno continuo e l'identificazione di DS discreti non è un compito facile. Lagomarsino e Cattari (in Pitilakis, Crowley, Kaynia, 2014) hanno proposto un approccio multiscala per gli edifici in muratura che definisce gli Stati Limite (LS) sulla curva di capacità controllando:

- la diffusione del danno negli elementi in muratura;
- il drift d'interpiano nei muri in muratura;
- il comportamento globale dell'edificio (descritto dalla sua curva di capacità).

Gli stati limite possono essere definiti da un approccio euristico, che considera che il passaggio da uno stato di danno al successivo, avvenga solitamente in determinate posizioni della curva di capacità.

Un possibile posizionamento degli stati limite si ottiene come segue (Figg. 33, 34):

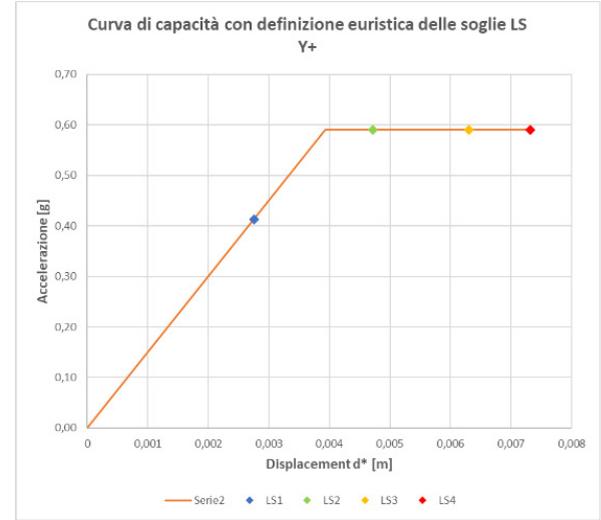
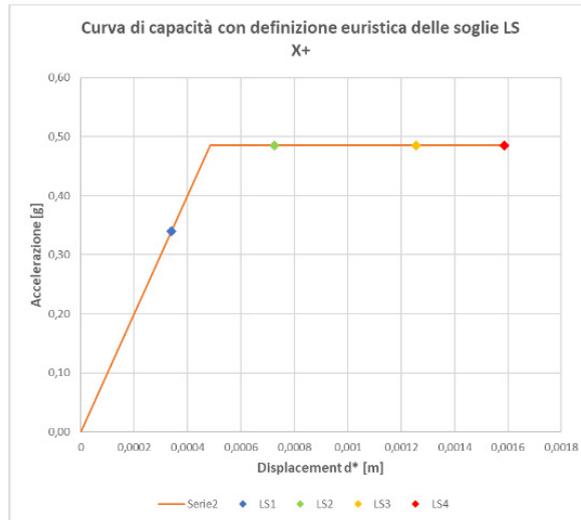
da sinistra,

Fig. 33

Curva di capacità in direzione X+ con definizione euristica delle soglie LS ($c_2=1.5$, $c_3=0.3$).

Fig. 34

Curva di capacità in direzione Y+ con definizione euristica delle soglie LS ($c_2=1.2$, $c_3=0.3$).



LS1
LS2
LS3
LS4

$$\begin{aligned} D_1 &= 0,7 D_y \\ D_2 &= c_2 D_y \\ D_3 &= c_3 D_2 + (1 - c_3) D_4 \\ D_4 &= D_u \end{aligned}$$

La posizione dello stato limite LS2 dipende dalla complessità e dall'irregolarità dell'edificio; il coefficiente c_2 può variare tra $1,2 \div 2$, essendo inferiore per edifici semplici e regolari. lo stato limite LS3 di solito è più vicino allo stato LS4, in particolare per edifici semplici e regolari e c_3 può variare tra $0,3 \div 0,5$.

Lo smorzamento viscoso equivalente ξ_{LS} può essere definito per ogni stato limite in funzione dello spostamento da una semplice relazione (Calvi, 1999; Priestley *et al.*, 2007; Blandon e Priestley, 2005):

$$\xi_{LS} = \xi_0 + \xi_H \left[1 - \left(\frac{D_y}{D_{LS}} \right)^\zeta \right]$$

dove:

- ξ_0 è lo smorzamento iniziale (normalmente assunto pari al 5%);
- ξ_H è lo smorzamento isteretico massimo;
- ζ è un parametro libero (compreso tra $0,5 \div 1$) assunto pari a 0,65.

Quando durante un evento sismico, la struttura abbandona un comportamento di tipo lineare e presenta deformazioni inelastiche, lo smorzamento ad essa associato è la combinazione di due contributi: il classico smorzamento viscoso e lo smorzamento isteretico ξ_H . Il primo è considerato una proprietà intrinseca della struttura, mentre il secondo è correlato all'area sottesa dalla curva taglio alla base-spostamento che dà una misura dell'energia dissipata durante l'evento (considerando gli interi cicli di carico-scarico, e l'area racchiusa all'interno della curva che descrive i cicli) ed è perciò associato uno spostamento massimo d_c (Figg. 35, 36).

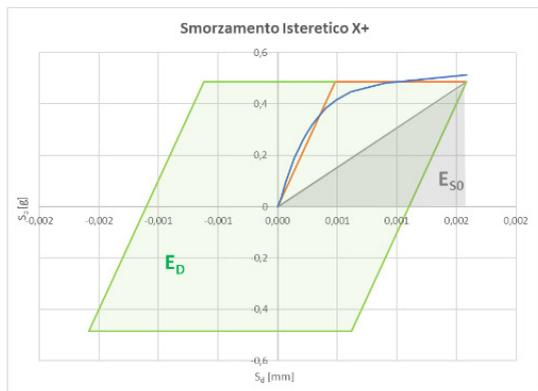
Lo smorzamento isteretico può essere calcolato attraverso la seguente relazione:

$$\xi_H = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}}$$

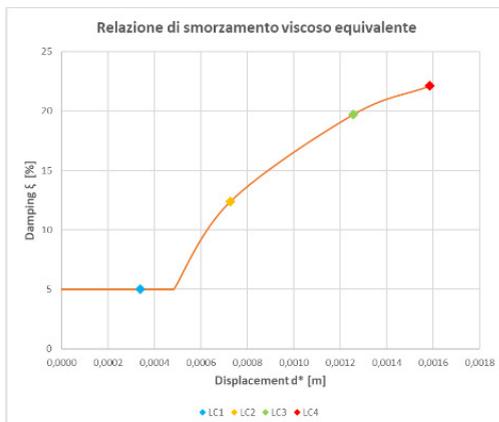
dove:

- E_d è l'energia dissipata dalla struttura in un singolo ciclo (Area verde parallelogramma);
- E_{S0} rappresenta l'energia associata alla massima deformazione elastica (Area Grigia triangolo).

Una volta definita la domanda sismica, dalla forma spettrale, è possibile ricavare l'accelerazione corrispondente $A(D_{LS})$.



$$\xi_H = 31,83 \%$$



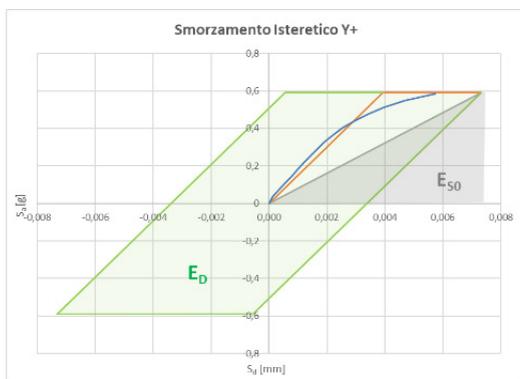
$$\xi_{LS1} = 5 \%$$

$$\xi_{LS2} = 12,37 \%$$

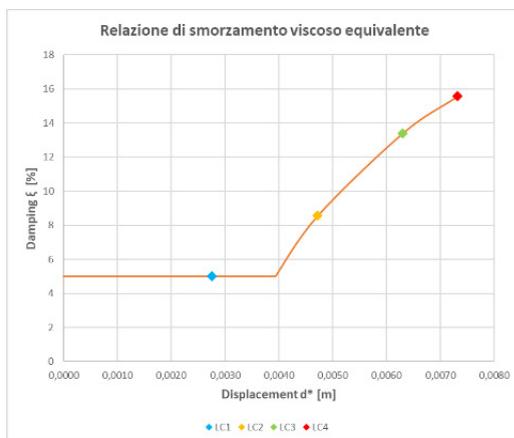
$$\xi_{LS3} = 19,70 \%$$

$$\xi_{LS4} = 22,10 \%$$

Fig. 35
Calcolo smorzamento viscoso equivalente X+.



$$\xi_H = 31,83 \%$$



$$\xi_{LS1} = 5 \%$$

$$\xi_{LS2} = 8,56 \%$$

$$\xi_{LS3} = 13,40 \%$$

$$\xi_{LS4} = 15,57 \%$$

Fig. 36
Calcolo smorzamento viscoso equivalente Y+.

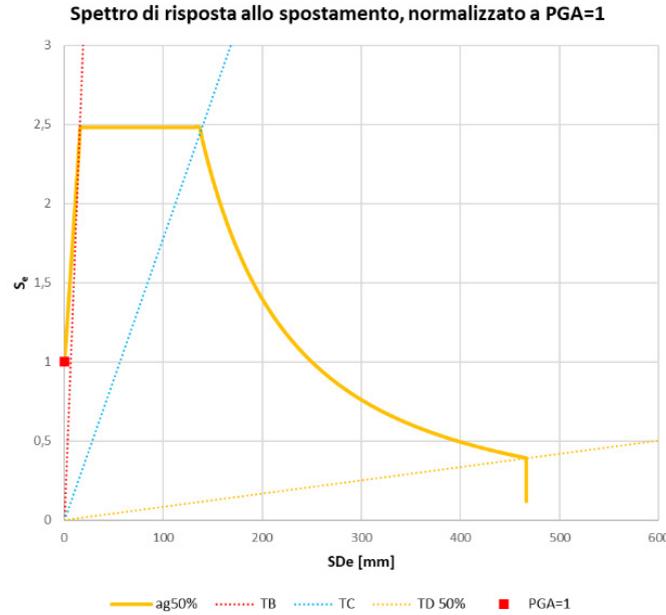
Per valutare i valori della misura d'intensità IM_{LSk} dall'equazione:

$$IM_{LS} = \frac{D_{LS}}{S_{De1}(T_{LS})\eta(\xi_{LS})}$$

è necessario valutare lo spostamento $S_{De,1}(T_{LS})$ normalizzando lo spettro nel dominio ADSR rispetto alla $PGA = 1$. Sapendo che, nel dominio ADSR i periodi corrispondenti agli stati limite T_{LS} non compaiono esplicitamente, ma sono rappresentati dalle rette radiali uscenti dall'origine degli assi, è stato possibile valutare lo spostamento $S_{De,1}(T_{LS})$, attraverso l'intersezione della retta corrispondente al periodo con lo spettro (Fig. 37).

Fig. 37

Spettro di risposta allo spostamento normalizzato rispetto a PGA=1.



Si riportano di seguito (Tabella 10) i valori determinati per IM_{LS} :

Tabella 10

valore IM_{LS} che produce qualsiasi soglia LS.

DIREZIONE X+						
STATO DI DANNO	D_{LS} [m]	$A(D_{LS})$ [m/s ²]	$\eta(\xi_{LS})$	T_{LS} [s]	$S_{De1}(T_{LS})$ [m]	IM_{LS}
DS1	0,0003	3,335	1,0000	0,063	0,006	0,054
DS2	0,0007	4,764	0,7587	0,078	0,008	0,125
DS3	0,0013	4,764	0,6363	0,102	0,010	0,196
DS4	0,0016	4,764	0,6073	0,115	0,011	0,231
DIREZIONE Y+						
STATO DI DANNO	D_{LS} [m]	$A(D_{LS})$ [m/s ²]	$\eta(\xi_{LS})$	T_{LS} [s]	$S_{De1}(T_{LS})$ [m]	IM_{LS}
DS1	0,0028	4,054	1,0000	0,164	0,017	0,167
DS2	0,0047	5,791	0,8588	0,179	0,020	0,277
DS3	0,0063	5,791	0,7372	0,207	0,026	0,323
DS4	0,0073	5,791	0,6973	0,223	0,031	0,341

7.8.2.3. Fonti di incertezza e propagazione

In un'analisi probabilistica del rischio sismico è necessario tenere conto di molte incertezze. La loro propagazione è considerata nelle curve di fragilità attraverso la dispersione β_{LS} , che può essere valutata dall'equazione

$$\beta_{LS} = \sqrt{\beta_H^2 + \beta_D^2 + \beta_T^2}$$

- β_D - Incertezza sulla forma spettrale della domanda sismica:

per tenere conto dell'incertezza sulla forma spettrale, che gioca un ruolo significativo a causa della grande variabilità delle registrazioni presenti, si sono definiti gli spettri di risposta $S_{e1,16}(S_{De})$ e $S_{e1,84}(S_{De})$, scalati al valore $PGA = 1$, per i livelli di fiducia del 16° e 84° percentile (Fig. 38).

Per ogni stato limite, la stima di richiede la valutazione delle misure di intensità $IM_{D,16}$ e $IM_{D,84}$ che corrispondono ad una richiesta di spostamento pari a D_{LS} , sulla curva di capacità mediana, utilizzando gli spettri di

risposta dei livelli di fiducia $S_{e1,16}(S_{De})$ e $S_{e1,84}(S_{De})$ rispettivamente. Risulta:

$$\beta_D = 0,5 | \ln \ln (IM_{D,84}) - \ln \ln (IM_{D,16}) |$$

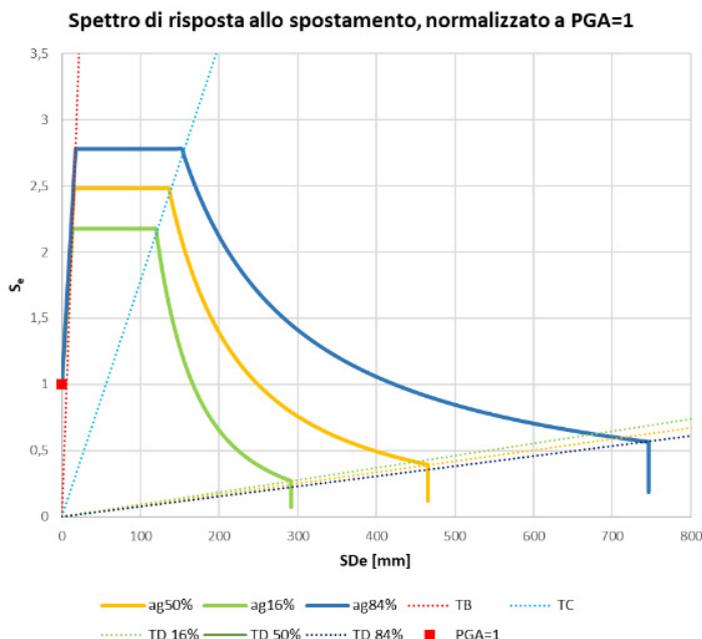


Fig. 38
Spettro di risposta allo spostamento normalizzato rispetto a PGA=1 per i livelli di fiducia 16°, 50°, 84° percentile.

Si riportano di seguito i valori determinati per β_D :

DIREZIONE X+					
STATO DI DANNO	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
DS1	0,005	0,0618	0,007	0,0484	0,1216
DS2	0,007	0,1424	0,009	0,1117	0,1216
DS3	0,009	0,2232	0,011	0,1750	0,1216
DS4	0,010	0,2629	0,013	0,2061	0,1216

Tabella 11
Incertezza sulla forma spettrale della domanda sismica.

DIREZIONE Y+					
STATO DI DANNO	$S_{De1,16}(\tau_{LS})$ [m]	$IM_{D,16}$	$S_{De1,84}(\tau_{LS})$ [m]	$IM_{D,84}$	β_D
DS1	0,015	0,1895	0,019	0,14857	0,1216
DS2	0,017	0,3154	0,022	0,24730	0,1216
DS3	0,023	0,3673	0,030	0,28801	0,1216
DS4	0,027	0,3883	0,034	0,30491	0,1209

- β_H - Incertezza epistemica sulla curva di rischio: le incertezze epistemiche nelle sorgenti sismiche e le leggi di attenuazione danno luogo intervalli di fiducia, che possono essere riassunti dalle curve di rischio $\lambda_{16}(im)$ e $\lambda_{84}(im)$, rappresentativi dei livelli di fiducia 16° e 84° percentile (Fig. 39).

Per ogni stato limite, è necessario valutare un IM_{LS} che corrisponde alla richiesta di spostamento sulla curva di capacità mediana, utilizzando lo spettro di risposta mediano $S_{e1}(S_{De})$.

La dispersione β_H è dato da:

$$\beta_H = 0,5 [\ln \ln (IM_{H,84}[\lambda(IM_{LS})]) - \ln \ln (IM_{H,16}[\lambda(IM_{LS})])]$$

dove:

- $IM_{H,16}$ e $IM_{H,84}$ sono le funzioni inverse di $\lambda_{16}(im)$ e $\lambda_{84}(im)$, rispettivamente;
 - $\lambda(im)$ è la curva di rischio mediana.
- Si riportano di seguito i valori determinati per β_H :

Fig. 39

Influenza sulla richiesta spettrale dell'incertezza epistemica sulla curva di rischio.

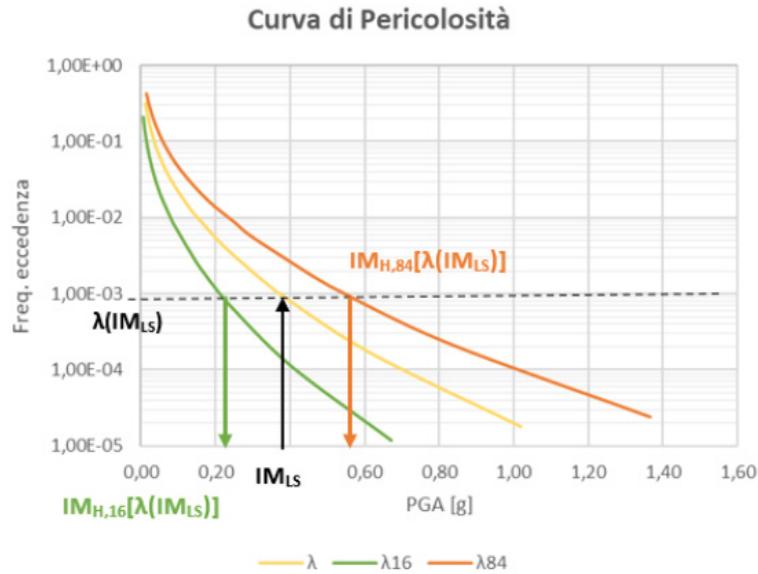


Tabella 12

Incertezza epistemica sulla curva di rischio

DIREZIONE X+			
STATO DI DANNO	$IM_{H,16}(\lambda(IM_{LS}))$	$IM_{H,84}(\lambda(IM_{LS}))$	β_H
DS1	0,0274	0,0898	0,5928
DS2	0,0651	0,1905	0,5370
DS3	0,1033	0,3078	0,5458
DS4	0,1209	0,3632	0,5500

DIREZIONE Y+			
STATO DI DANNO	$IM_{H,16}(\lambda(IM_{LS}))$	$IM_{H,84}(\lambda(IM_{LS}))$	β_H
DS1	0,0926	0,2399	0,4761
DS2	0,1490	0,3733	0,4591
DS3	0,1910	0,4800	0,4608
DS4	0,2090	0,5250	0,4605

- β_T - Incertezza sulle soglie di stato limite: anche la definizione delle soglie degli stati limite LS è soggetta a dispersione, poiché la valutazione degli spostamenti D_{LS} deriva da un approccio euristico.

Considerando la curva di capacità linearizzata, le soglie D_{LSk} ($K = 1, \dots, 4$), sono normalmente distribuite come in figura 40.

Bisogna tenere conto del fatto che in un singolo edificio il k-esimo stato di danno potrebbe essere raggiunto un po' prima o dopo il valore mediano D_{LSk} . È ragionevole presumere che le quattro distribuzioni non si intersechino:

- LS1 è sempre nel ramo "elastico" della curva di capacità;
- LS2 è nella prima parte del ramo "plastico";
- LS3 è molto variabile e talvolta si verifica anche per un valore basso dello spostamento, ma è possibile separare i possibili intervalli di LS2 e LS3.

L'uso di una distribuzione uniforme è una semplificazione che si assume. A causa del gran numero di incertezze implicate in un'analisi del rischio sismico, probabilmente tale assegnazione porta ad una leggera sovrastima di β_T .

La figura 40 mostra una proposta, con l'indicazione, di uno stato limite LS generico, dei livelli di confidenza del 16 e 84% di D_{LS} , di nome $D_{LS,16}$ e $D_{LS,84}$.

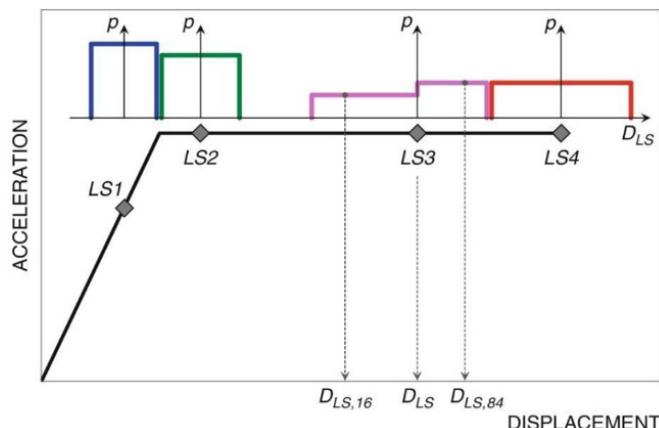


Fig. 40
Definizione incerta delle soglie LS.

Quest'ultimi si ottengono semplicemente spostandosi dal valore mediano, a sinistra e a destra, di 2/3 della semi-larghezza della distribuzione uniforme.

Per ogni stato limite, è quindi necessario valutare $IM_{T,16}$ e $IM_{T,84}$ che corrisponde ad una richiesta di spostamento pari a $D_{LS,16}$ e $D_{LS,84}$ sulla curva di capacità. La dispersione β_T è dato dalla seguente formula:

$$\beta_T = 0,5(IM_{T,84} - \ln \ln (IM_{T,16}))]$$

si riportano di seguito i valori determinati per β_T :

DIREZIONE X+			
STATO DI DANNO	$IM_{T,16}$	$IM_{T,84}$	β_T
DS1	0,0002	0,0004	0,2939
DS2	0,0006	0,0009	0,2260
DS3	0,0011	0,0014	0,1414
DS4	0,0015	0,0017	0,0696

Tabella 13
Incertezza sulle soglie di stato limite.

DIREZIONE Y+			
STATO DI DANNO	$IM_{T,16}$	$IM_{T,84}$	β_T
DS1	0,0020	0,0035	0,2939
DS2	0,0045	0,0050	0,0556
DS3	0,0058	0,0068	0,0838
DS4	0,0070	0,0077	0,0463

- β_{LS} - Dispersione:

si riportano di seguito il valori della dispersione per i quattro stati limite β_{LS} :

STATO DI DANNO	DIREZIONE X+	DIREZIONE Y+
	β_{LS}	β_{LS}
DS1	0,673	0,573
DS2	0,595	0,478
DS3	0,577	0,484
DS4	0,568	0,478

Tabella 14
Dispersione.

La dispersione β_{LS} è mediamente pari a in direzione X+ e in direzione Y+.

7.8.2.4. Curve di fragilità

La curva di fragilità fornisce la probabilità che si raggiunga uno stato limite generico e si è valutata mediante l'equazione:

$$p_{LS}(im) = P(d > D_{LS}|im) = P(im_{LS} < im) = \Phi\left(\frac{\log\left(\frac{im}{IM_{LS}}\right)}{\beta_{LS}}\right)$$

dove:

- d è uno spostamento rappresentativo del comportamento sismico dell'edificio;
- D_{LS} rappresenta il Damage State e gli LS rappresentano le soglie che separano i vari stati di danno. Di solito vengono considerati cinque stati di danno: $DS1$, $DS2$, $DS3$, $DS4$, $DS5$ che vanno da stato di danno leggero al collasso;
- IM_{LS} è il valore mediano della distribuzione log-normale della misura dell'intensità che produce la soglia LS ;
- β_{LS} è la dispersione.

La figura 41a e la figura 42a mostrano le curve di fragilità per la classe di edificio $URM1 - L$ in direzione $X+$ e $Y+$ a cui appartiene l'edificio studiato. Inoltre, si riporta in figura 41b e la figura 42b la distribuzione di probabilità degli stati di danno relativa alla dello stato limite di salvaguardia della vita per il sito in esame (0,277g).

Fig. 41

Direzione $X+$ (a) Curve di fragilità e (b) distribuzione di probabilità degli Stati di danno relativi alla PGA di Cave (0.277 g).

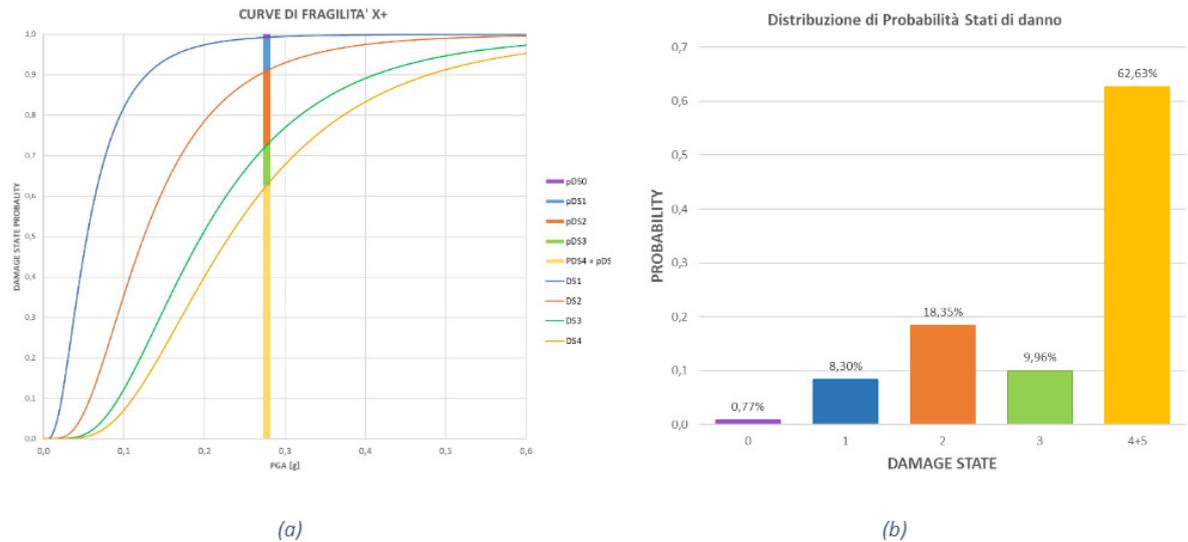
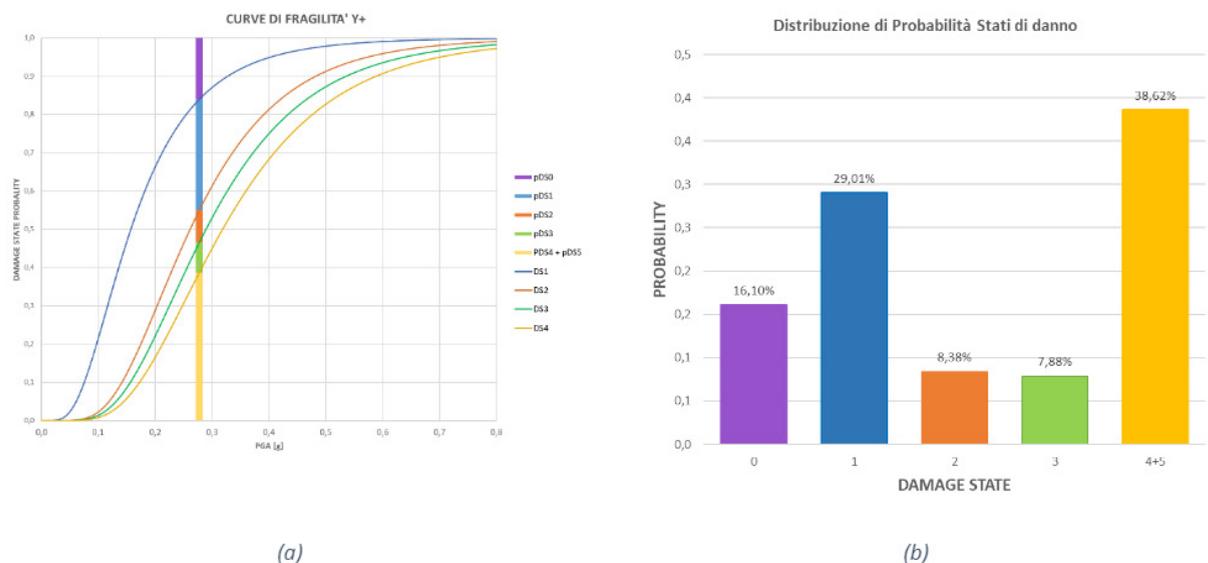


Fig. 42

Direzione $Y+$ (a) Curve di fragilità e (b) distribuzione di probabilità degli Stati di danno relativi alla PGA di Cave (0.277 g).



Si osserva in direzione X+ che circa l'1% di probabilità è rappresentato dall'aver uno stato di danno DS0 che corrisponde a non avere nessun danno.

Lo stato di danno DS1, ovvero danno lieve, ha una probabilità di verificarsi di circa l'8%, lo stato DS2 di circa il 18%, lo stato DS3 di circa il 10% ed infine lo stato DS4, che rappresenta uno stato di danno di collasso, di circa il 63%.

Si osserva in direzione Y+ che circa il 16% di probabilità è rappresentato dall'aver uno stato di danno DS0.

Lo stato di danno DS1 ha una probabilità di verificarsi di circa il 29%, lo stato DS2 di circa il 8%, lo stato DS3 di circa il 8% ed infine lo stato DS4 di circa il 39%.

7.8.2.5. Calcolo rischio sismico e confronti con il metodo speditivo

Si è proceduto con il calcolo del rischio sismico della struttura attraverso l'equazione di Jalayer e Cornell. Dal grafico della curva di pericolosità, determinata nell'analisi della valutazione della pericolosità sismica di Cave con tempo di esposizione pari ad (modello di attenuazione Akkar and Bommer 2010), si è individuato il punto corrispondente a λ (IM, 50%). Si è linearizzata la curva considerando il limite minimo e massimo dell'accelerazione relativi agli stati limite di operatività (SLO) e di collasso (SLC), e si è valutata la pendenza k che permette di valutare λ [LS], come fatto precedentemente per il modello speditivo.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti per la classe URM1-L e per ogni Stato di danno DS in direzione X+ e Y+.

STATO DI DANNO	DIREZIONE X+	DIREZIONE Y+
	λ (LS)	λ (LS)
DS1	1,21E-01	1,38E-02
DS2	2,61E-02	3,38E-03
DS3	1,02E-02	2,30E-03
DS4	6,76E-03	1,93E-03

Considerando la classe analizzata per l'edificio studiato (URM1-L), si può osservare negli istogrammi riportati di seguito, che i valori determinati per ogni Stato di danno con il metodo analitico risultano essere rispetto al metodo speditivo (Fig. 43):

- dello stesso ordine in direzione X+;
- di un ordine di grandezza differente in direzione Y+.

Per nell'analisi del rischio, si deve assumere la direzione peggiore, che nel caso in esame risulta essere la direzione X+.

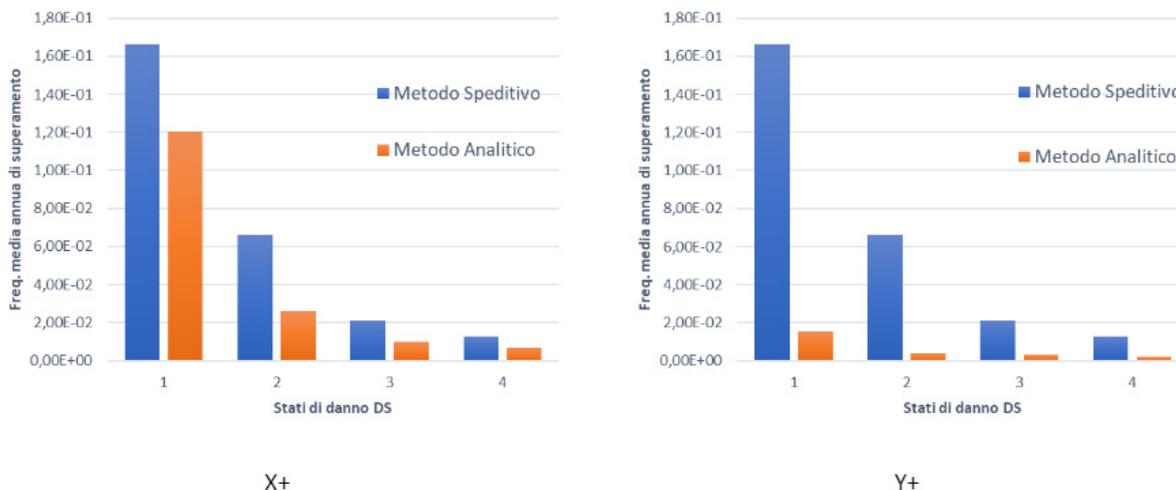


Fig. 43 Confronto risultati del rischio sismico determinati con il metodo analitico e il metodo speditivo per la classe URM1-L.

7.8.3. La risposta sismica locale a Cave

Domenico Cosentino, Valentina Gambetti

Nel Comune di Cave, sono stati eseguiti alcuni approfondimenti per la definizione quantitativa del fattore di amplificazione sismica locale. Questo fattore determina di quanto il moto sismico in superficie (accelerazione al suolo, pericolosità sismica locale) si discosti dal moto sismico in profondità, dovuto all'accelerazione indotta dall'onda sismica all'interfaccia tra substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) e i terreni di copertura (pericolosità sismica di base). Questo fattore di amplificazione, che risulta dal rapporto fra l'accelerazione al suolo e l'accelerazione all'interfaccia tra substrato sismico e copertura, varia in funzione delle caratteristiche stratigrafiche (modello geologico del sottosuolo) e morfologiche dell'area interessata dal terremoto. In particolare, l'amplificazione stratigrafica è funzione della disposizione stratigrafica dei terreni di copertura ($V_s < 800$ m/s), del loro spessore, e della profondità del substrato sismico ($V_s > 800$ m/s). L'amplificazione del moto sismico legata alle caratteristiche topografiche dell'area è funzione della presenza di versanti con pendenze $>15^\circ$, presenza di creste, scarpate, etc., capaci di canalizzare le onde sismiche.

La pericolosità sismica di base per il territorio comunale di Cave si ricava dall'estrazione degli accelerogrammi di input, riferiti al terremoto di riferimento per il settore di Cave, reperibili sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Il rilevamento geologico effettuato nel Comune di Cave e l'analisi delle stratigrafie dei sondaggi geognostici effettuati nel territorio comunale per ricerca di acqua potabile, ha consentito di ricostruire il modello geologico del sottosuolo, indispensabile per la valutazione degli effetti di sito in seguito all'arrivo dell'onda sismica. Gli approfondimenti per la definizione quantitativa del fattore di amplificazione sismica locale sono stati svolti nell'area del centro storico di Cave, in particolare nella zona del Municipio. Dal modello geologico del sottosuolo della zona del Municipio di Cave, si è passati alla definizione del conseguente modello sismo-stratigrafico, che ha portato al riconoscimento di sei sismostrati, caratterizzati da diversi spessori e diverse velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s). Nel settore del Municipio di Cave, il substrato sismico ($V_s > 800$ m/s), costituito da calcari del Cretaceo superiore, si trova a 125 m di profondità. Le coperture sovrastanti, che presentano V_s comprese tra 350 e 250 m/s, sono costituite da depositi argilloso-sabbiosi di origine marina del Pleistocene inferiore e prodotti vulcanici del Pleistocene medio. Con questa configurazione stratigrafica, nel settore del Municipio di Cave viene trasferito in superficie un moto sismico che è ca. 2,5 volte quello che colpisce il substrato sismico a 125 m di profondità (calcari del Cretaceo), per effetto della pericolosità sismica di base prevista dal terremoto di riferimento per l'area di Cave.

7.8.4. Isole di calore a Cave

Lucia Martincigh con Marina Di Guida e Andrea Recine

Come già detto, sembra opportuno dotarsi di uno strumento agile che faccia capire se la zona analizzata presenti situazioni prodromiche di isole di calore e quindi possa esserne eventualmente interessata, in modo da poter effettuare interventi che ne mitighino gli effetti negativi. Nell'approfondimento quindi, si affronta un'analisi maggiormente dettagliata che porta a definire in modo più preciso i rischi e gli ambiti di intervento.

Anche in questo caso vengono presi in considerazione i due fattori coinvolti nella valutazione del rischio, la pericolosità e la vulnerabilità; siccome per quanto riguarda la vulnerabilità rimane valida la valutazione già effettuata nello studio del fenomeno delle ondate di calore (cfr. Par. 7.6.6.2), l'analisi inerente le isole di calore si concentra sulla valutazione della pericolosità, recependo gli esiti delle analisi svolte in precedenza; la metodologia specifica è applicata, a titolo esemplificativo, solo a quegli spazi urbani che sono già risultati maggiormente frequentati e quindi più vulnerabili, ma, nel processo di prevenzione e mitigazione del rischio, proposto in questa ricerca, essa andrebbe applicata alle aree di attenzione, classificate come prioritarie (cfr. Par. 5.9). Gli spazi urbani che presentano i due livelli più alti di frequentazione, e quindi sono i più vulnerabili, vengono elencati in ordine di priorità decrescente: Piazza del Plebiscito (5 ++), Piazza G. Garibaldi - Via Scaloni Bielli (5 +), Piazza delle Erbe (4 ++), Piazzale Unità d'Italia (4 ++), Piazza G. Garibaldi - Via della Pace (4 +) e sono segnati sullo stralcio planimetrico del nucleo più antico di Cave, per indicarne l'ubicazione; per questo approfondimento, non è stato considerato il tratto denominato Piazza del Plebiscito - Via della Pace (4 ++), nonostante ricada nella stessa classe, perché è in gran parte un passaggio coperto da una volta e quindi in ombra (Fig. 1).

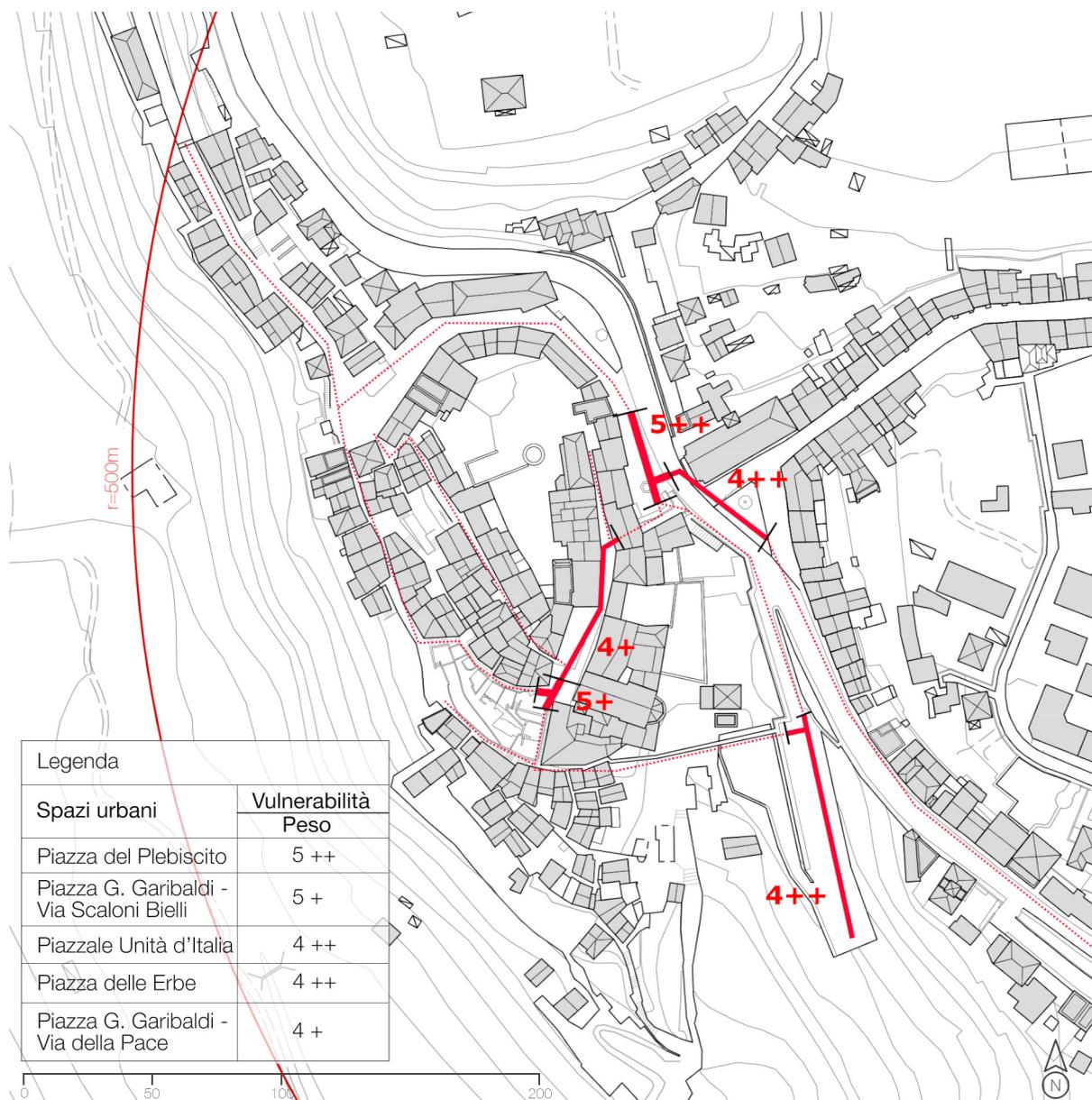


Fig. 1
Indicazione dei tratti della rete dei percorsi O-D che sono risultati maggiormente frequentati e quindi più vulnerabili (Cfr. Par. 7.6.6.2). In questi spazi pubblici, ubicati nel nucleo più antico del centro storico di Cave, viene verificata, a titolo esemplificativo, l'eventualità della presenza di isole di calore urbano.

7.8.4.1. L'analisi della pericolosità

Come già spiegato in precedenza nella descrizione della metodologia da utilizzare a questo livello di approfondimento (cfr. Par. 3.8.3), l'analisi e la valutazione prendono in considerazione tre fattori basilari per il comfort termico: il soleggiamento, la ventilazione e i materiali, naturali e artificiali, di copertura del suolo, con il fine di studiarne l'interconnessione e valutarne gli effetti sulla possibilità di formazione dell'isola di calore e, quindi, di definire il livello di pericolosità che presentano gli spazi urbani che costituiscono la zona studiata.

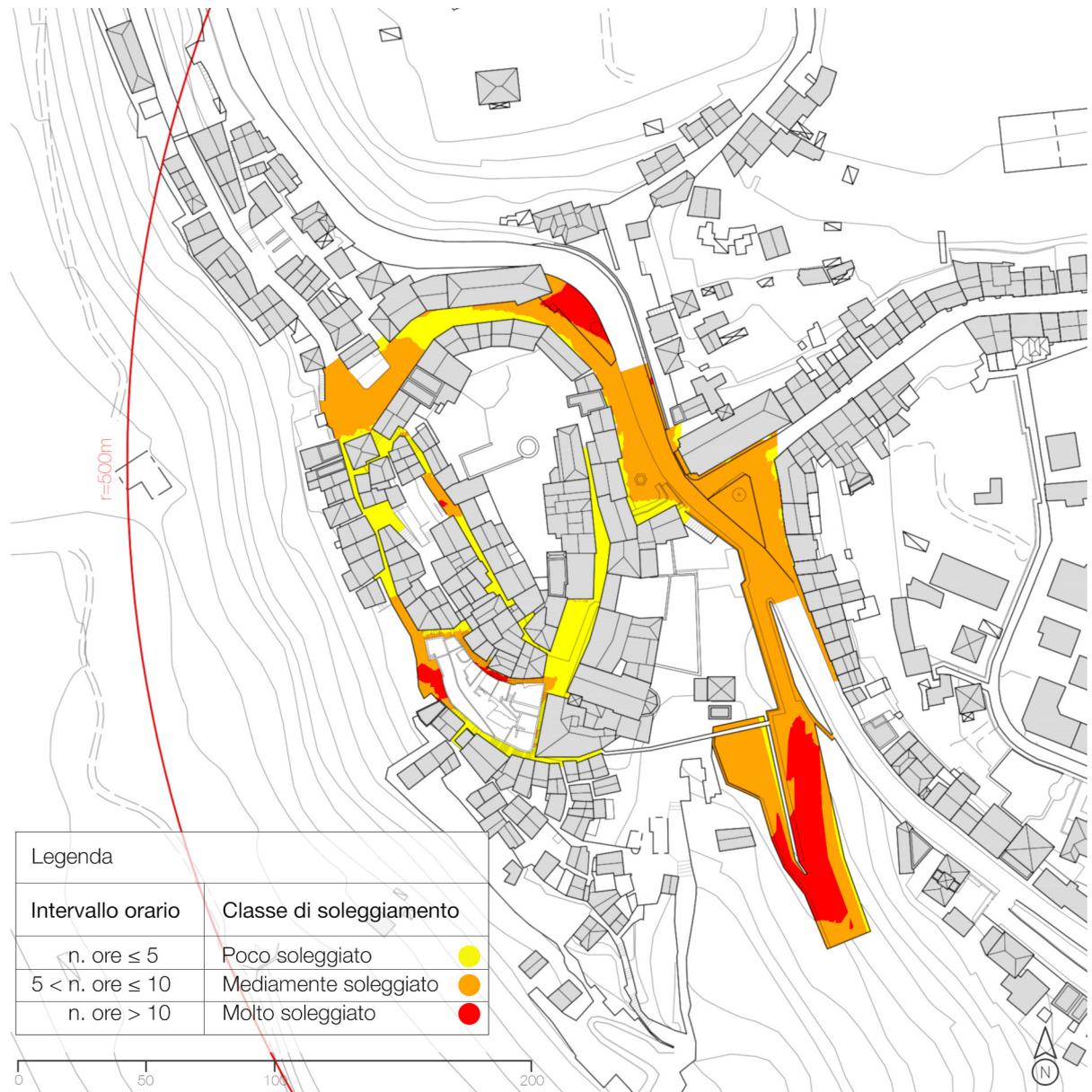
Il metodo proposto per svolgere tale studio, utilizzabile sia in estate che in inverno, come pure i relativi intervalli e le soglie, sono stati testati in ricerche applicate svolte nell'area romana (Martincigh, L., Di Guida, M., 2019) e, per alcuni aspetti, perfezionati in occasione di questa ricerca.

Il primo fattore che viene analizzato è il soleggiamento.

Prima di affrontare l'approfondimento sugli spazi più frequentati, viene svolto uno studio generale sul nucleo più antico del centro storico di Cave. Poiché le ore in cui la radiazione solare incide sulla superficie orizzontale vanno calcolate considerando le ombre, portate dagli edifici, e dalle superfici vegetate verticali, sugli spazi urbani da analizzare, come prima cosa è stato necessario ricostruire i profili schematici degli edifici che definiscono l'invaso di strade, slarghi e piazze. È stato poi elaborato un modello tridimensionale e su di esso è stato fatto lo studio del

Fig. 2

Lo studio del soleggiamento di alcuni spazi ubicati nel nucleo storico di Cave è stato fatto nel periodo estivo, dal solstizio d'estate (21.6.2021) all'equinozio d'autunno (23.9.2021), impiegando un programma di simulazione. Le ore di soleggiamento risultanti variano da un minimo di 0h a un massimo di 10h40'; il numero medio di ore nelle quali gli spazi studiati sono colpiti dai raggi solari diretti è articolato in tre intervalli a cui fanno riferimento le classi di valutazione del soleggiamento, rappresentate da apposite tonalità di colore.



soleggiamento per l'area considerata, nel periodo estivo, che va dal solstizio d'estate all'equinozio d'autunno, impiegando uno dei programmi di simulazione a disposizione, che fornisce la media delle ore di luce solare diretta²⁴; da tale studio emerge che le ore nelle quali i raggi solari diretti colpiscono le superfici di calpestio (che sono simulate da sensori preimpostati) vanno da un minimo di zero a un massimo di oltre dieci ore (10h40'); per semplificare al massimo, nel modello non sono state considerate le alberature, data la loro presenza limitata nell'area studiata (Fig. 2). La valutazione del soleggiamento è stata espressa utilizzando tre classi, ognuna abbinata a un intervallo quantitativo di ore (che varia da poco soleggiato: 0-5 ore, a mediamente soleggiato: 5-10 ore, a molto soleggiato: 10-15 ore) e a un colore, utilizzato per identificarla graficamente; questi campi di variazione e le relative soglie, come già detto, erano stati definiti in precedenti ricerche facendo riferimento al giorno con il massimo numero di ore di luce solare e la massima altezza del sole sull'orizzonte (71°30'): il solstizio d'estate (21 giugno); ciò è stato possibile perché il numero di ore tra l'alba e il tramonto a Roma è analogo a quello a Cave: 15h14' (il sole sorge e cala due minuti prima a Cave).

²⁴ Nello specifico è stato utilizzato il software 3D Sketchup Pro, con plugin DL-Light della DeLuminae; i sensori sono stati posizionati secondo un maglia di 50x50 cm. Il software calcola il soleggiamento medio estivo applicando la formula "average daily sun hours/days".

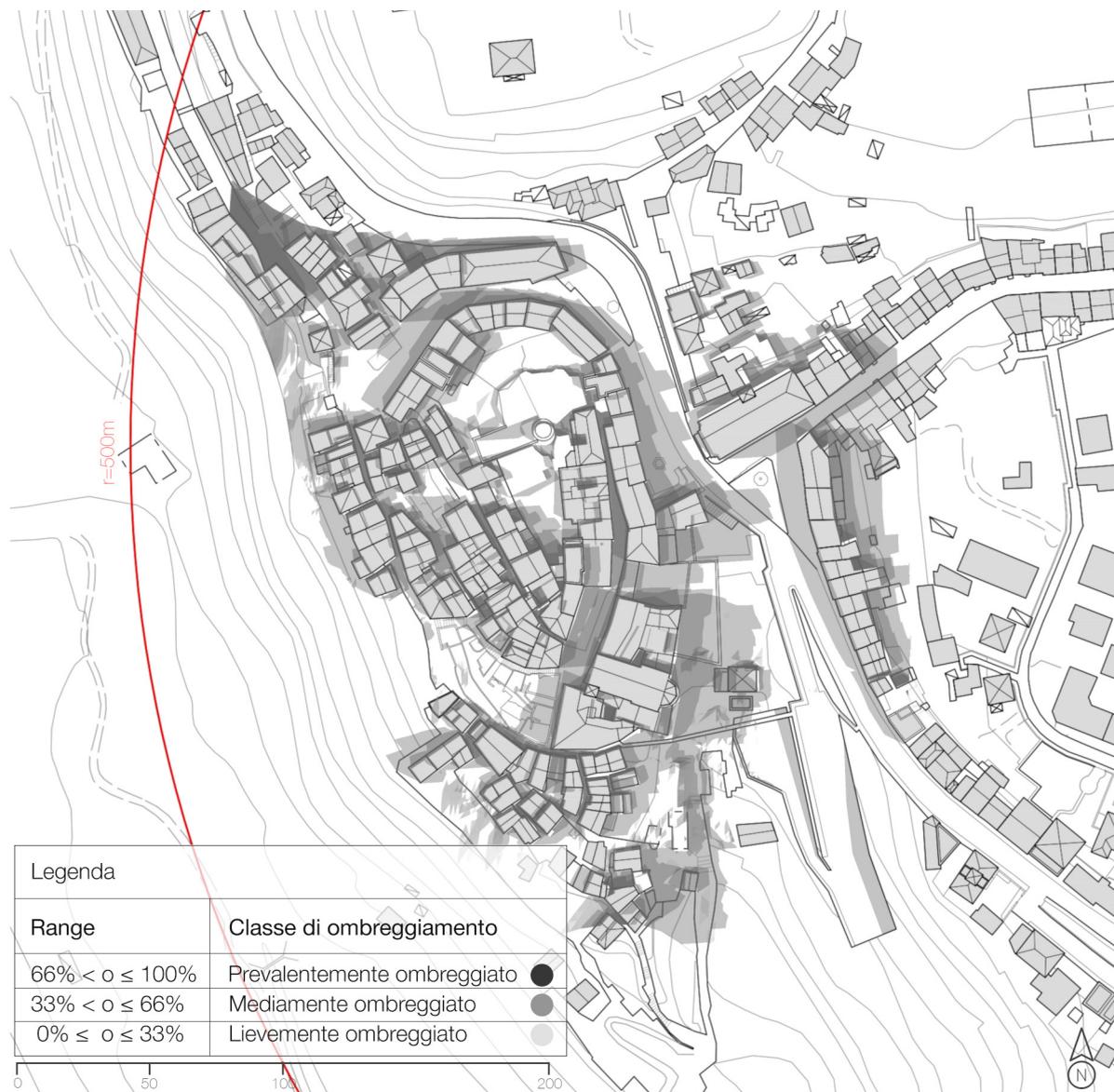


Fig. 3
 Lo studio dell'ombreggiamento di alcuni spazi ubicati nel nucleo storico di Cave è stato fatto nel giorno del solstizio d'estate (21 giugno 2021). La simulazione riguarda l'arco della giornata, dall'alba al tramonto (04:33 - 19:47 ora solare; 05:33 - 20:47 ora legale); la rappresentazione grafica riporta la situazione solo in tre momenti rilevanti della giornata (alle 6:00, alle 12:00 e alle 18:00). La valutazione in tre classi è espressa facendo riferimento a tre range definiti in percentuali di ombreggiamento.

Per velocizzare il lavoro, l'analisi è poi proseguita focalizzando l'attenzione solo sul giorno più lungo dell'anno: il solstizio d'estate, proprio perché in quel giorno si riscontra il numero massimo di ore in cui la radiazione solare incide sulla superficie orizzontale e, quindi, esso rappresenta il giorno in cui la condizione è potenzialmente più sfavorevole per la stagione estiva. Perciò lo studio dell'ombreggiamento, dovuto agli edifici che fronteggiano le strade, gli slarghi e le piazze analizzati nel nucleo più antico di Cave, è stato fatto il 21 giugno 2021, nell'arco di tempo dall'alba al tramonto, sullo stesso modello tridimensionale e con lo stesso software e plugin utilizzati per lo studio del soleggiamento; la valutazione, sempre in tre classi, è stata espressa facendo riferimento a tre range, identificati graficamente da sfumature diverse di grigio e costituiti da percentuali di ombreggiamento (lievemente ombreggiato: 0%-33%, mediamente ombreggiato: 33%-66%, prevalentemente ombreggiato: 66%-100%), che derivano dalle percentuali di ombra calcolate, ogni intervallo prestabilito, dai singoli sensori preimpostati²⁵. Per rendere più semplice il lavoro relativo alla rappresentazione grafica della simulazione, si è deciso di riportare solo le percentuali di ombreggiamento simulate in 3 differenti momenti del solstizio d'estate (due che rappresentano le elevazioni solari minori: poco dopo il sorgere del sole, alle 06:00, e poco prima del tramonto, alle 18:00; una che rappresenta la massima elevazione solare, alle 12:00); la rappresentazione in planimetria dà solo un'indicazione approssimata della sovrapposizione delle ombre nei tre momenti scelti e di tutti i dati elaborati (Fig. 3).

²⁵ Nell'area studiata è stato posizionato 1 sensore ogni 10 mq, che calcola ogni 30 minuti la percentuale di ombra rispetto al soleggiamento massimo.

da sinistra,

Fig. 4

Valutazione delle due componenti del soleggiamento: numero di ore e fasce orarie in cui gli spazi analizzati sono esposti ai raggi solari. La valutazione di ognuna delle due viene fatta in base a tre intervalli e a una corrispondente scala di pesi, con i valori più alti che indicano la situazione più sfavorevole per il periodo estivo.

ESPOSIZIONE AI RAGGI SOLARI: PER NUMERO DI ORE		
N° ore	Valutazione	Peso
$n \leq 5$	Basso	1
$5 < n \leq 10$	Medio	2
$n > 10$	Alto	3

ESPOSIZIONE AI RAGGI SOLARI: PER FASCIA ORARIA		
Fascia oraria	Valutazione	Peso
04:33 - 09:30	Migliore	1
09:30 - 10:15 e 18:15 - 19:47	Intermedia	2
10:15 - 18:15	Peggiora	3

Fig. 5

Matrice che valuta l'entità del soleggiamento estivo complessivo in base alla somma dei pesi attribuiti alle due componenti considerate; i risultati dell'operazione sono articolati in tre intervalli a cui corrispondono tre classi di soleggiamento; i pesi maggiori sono attribuiti alle situazioni più sfavorevoli per il periodo estivo.

MATRICE COMPLESSIVA DEL SOLEGGIAMENTO ESTIVO				
		ORE DI ESPOSIZIONE AI RAGGI SOLARI		
		1	2	3
FASCIA ORARIA	PESI			
	1	2	3	4
	2	3	4	5
	3	4	5	6

CLASSIFICAZIONE DEL SOLEGGIAMENTO	
Classe	Range dei pesi
Poco soleggiato	2 - 3
Mediamente soleggiato	4
Molto soleggiato	5 - 6

Nell'approfondimento, svolto in ognuno dei cinque spazi urbani scelti, viene esemplificato il metodo di analisi e valutazione, svolgendo la simulazione in un punto significativo per lo spazio in esame²⁶.

Il metodo proposto si avvale di una matrice che valuta l'entità del soleggiamento articolandola in tre classi, in base alla somma dei pesi attribuiti a due componenti: il numero di ore di esposizione ai raggi solari e il periodo della giornata in cui esso avviene. La prima componente viene valutata esprimendo tre giudizi, con pesi da 1 a 3, correlati a tre intervalli di tempo, che sono stati definiti considerando il numero totale delle ore di irraggiamento solare nel sito studiato (basso: ≤ 5 ore, medio: 5-10 ore, alto: > 10 ore); la seconda viene valutata esprimendo tre giudizi, anch'essi con pesi da 1 a 3, correlati a tre fasce orarie, espresse secondo l'ora solare (migliore: 04:33 - 09:30, intermedia: 09:30 - 10:15 e 18:15 - 19:47, peggiore: 10:15 - 18:15) che sono state definite in base alle temperature medie riscontrate il 21 giugno nelle varie ore della giornata. Anche in questo caso, gli intervalli utilizzati per lo studio pilota di Cave sono quelli definiti il giorno del solstizio d'estate a Roma (totale ore di luce solare 15h14'), considerando l'intero arco della giornata, dall'alba al tramonto (Fig. 4).

In base alla matrice delle due componenti sopra dette, sono state definite tre classi di soleggiamento complessivo corrispondenti a tre range che, in ordine crescente, sono: Poco soleggiato, Mediamente soleggiato e Molto soleggiato. In estate, il numero più basso di ore di irraggiamento solare (fino a 5 ore), concentrate al mattino, nella fascia oraria corrispondente alle temperature più basse (dalle 4:33 alle 9:30), è valutato positivamente, assegnandogli un peso basso (peso totale 2), perché il peso più alto (peso totale 6) è attribuito alla condizione più sfavorevole, che in estate è rappresentata dal massimo numero di ore di irraggiamento solare (maggiore di 10 ore) e dalla fascia oraria più calda della giornata (10:15 - 18:15) (Fig. 5).

Considerare sia per quanto tempo sia in che momento della giornata, cioè con quali temperature, la popolazione è soggetta al fenomeno permette di valutare meglio i diversi livelli di soleggiamento e il contributo che esso può dare al formarsi dell'isola di calore e quindi alla pericolosità dello spazio studiato.

Per il primo spazio analizzato, Piazza del Plebiscito, si è scelto di concentrare l'attenzione su un punto vicino al bar, che è uno degli elementi attrattori maggiori della zona. L'analisi evidenzia che esso viene investito dai raggi solari per un numero di ore medio (6h50', peso 2), mentre la distribuzione di tali ore nella giornata, che avviene soprattutto in due diverse fasce, la migliore e la peggiore, con un numero di ore e quindi con percentuali simili,

²⁶ Il modello utilizzato per la simulazione del numero di ore e delle fasce orarie, in cui i punti scelti in ogni spazio urbano analizzato a Cave ricevono l'irraggiamento solare, fa riferimento all'ora legale.

gli fa attribuire un peso da valutazione intermedia (peso 2); questa parte della piazza risulta infatti soleggiata al mattino molto presto, dalla 06:22 fino alle 09:30, quindi nella fascia oraria migliore, quando l'aria è ancora fresca e le superfici non hanno ancora assorbito calore, poi, ininterrottamente, per un breve periodo (45', fino alle 10:15) nella fascia oraria intermedia, e quindi, fino alle 13:12, nella fascia oraria peggiore, quando l'aria ormai ha iniziato a scaldarsi, ma non ancora nel periodo più caldo. La somma dei pesi delle due componenti porta a dire che la piazza, almeno in quel punto, è mediamente soleggiata (Fig. 6).

● Classe di soleggiamento Piazza del Plebiscito: Mediamente soleggiato - 4						
N. ore	P (peso)	Fascia oraria	Ore	P (peso)	Calcolo ore fascia : ore totali = % h * P (peso fascia)	Peso totale
		06:22 - 09:30	3h8'	0,46	188' = 46% * 1 (P)	
		09:30 - 10:15	0h45'	0,22	45' = 11% * 2 (P)	
		10:15 - 13:12	2h57'	1,30	177' = 43% * 3 (P)	
6h50' (410')	2			1,98		
	2			2		4



Fig. 6 Definizione della classe di soleggiamento: analisi e metodo di calcolo in base al numero di ore e alle fasce orarie in cui il punto analizzato, a Piazza del Plebiscito, riceve l'irraggiamento solare il 21 giugno 2021 (per 6h50', dalle 6:22 alle 13:12, continuamente in tre fasce orarie con peso diverso).

Nel secondo spazio considerato, Piazza Garibaldi, sono stati presi in considerazione due punti particolari; la piazza infatti ha una conformazione irregolare, a rettangolo piuttosto allungato, delimitata quasi completamente da fronti edilizi, con due accessi sull'asse longitudinale, uno a SO, verso sinistra, e uno a NE, verso destra. Il primo punto, all'imbocco con Via Scalonì Bielli, vicino all'ingresso del Comune, risulta essere molto soleggiato (peso 5), in quanto l'esposizione ai raggi solari, pur essendo come numero di ore di poco inferiore a quella di Piazza del Plebiscito (5h50'), avviene nella fascia oraria peggiore (10:45-16:35); il secondo punto, all'imbocco di Via della Pace, risulta essere mediamente soleggiato (peso 4) perché il numero di ore di esposizione ai raggi del sole pur essendo basso (solo 3h20') si trova nella fascia oraria peggiore (11:30-14:50), nel periodo caldo anche se non in quello più caldo. Dal punto di vista del soleggiamento la situazione della piazza nella sua parte centrale, sembrerebbe essere più simile a quella di questo secondo punto che non a quella del primo, che sembra rappresentare piuttosto una singolarità della piazza (Fig. 7).

● Classe di soleggiamento P.zza G. Garibaldi - Via Scalonì Bielli: Molto soleggiato - 5						
N. ore	P (peso)	Fascia oraria	Ore	P (peso)	Calcolo ore fascia: ore totali = % h * P (peso fascia)	Peso totale
5h50' (350')	2	10:45 - 16:35	5h50'	3	350' = 100% * 3 (P)	
	2			3		5

● Classe di soleggiamento P.zza G. Garibaldi - Via della Pace : Mediamente soleggiato - 4						
N. ore	P (peso)	Fascia oraria	Ore	P (peso)	Calcolo ore fascia: ore totali = % h * P (peso fascia)	Peso totale
3h20' (200')	1	11:30 - 14:50	3h20'	3	200' = 100% * 3 (P)	
	1			3		4



Fig. 7 Definizione della classe di soleggiamento: analisi e metodo di calcolo in base al numero di ore e alle fasce orarie in cui i due punti analizzati, a Piazza G. Garibaldi, ricevono l'irraggiamento solare il 21 giugno 2021 (a N: 3h20', dalle 11:30 alle 14:50, a S: 5h50', dalle 10:45 alle 16:35; il numero di ore è diverso, la fascia oraria è la stessa, con il peso maggiore).

Anche il punto preso in considerazione per Piazza delle Erbe, non tenendo conto delle alberature, risulta molto soleggiato (peso 5), pur presentando un numero di ore di esposizione ai raggi solari medio (7h10'), perché quasi tutte le ore ricadono nella fascia oraria peggiore (10:15-16:37) e nel suo periodo più caldo (Fig. 8).

Fig. 8

Definizione della classe di soleggiamento: analisi e metodo di calcolo in base al numero di ore e alle fasce orarie in cui il punto analizzato, a Piazza delle Erbe, riceve l'irraggiamento solare il 21 giugno 2021 (per 7h10', dalle 09:27 alle 16:37, continuativamente in tre fasce orarie con peso diverso).

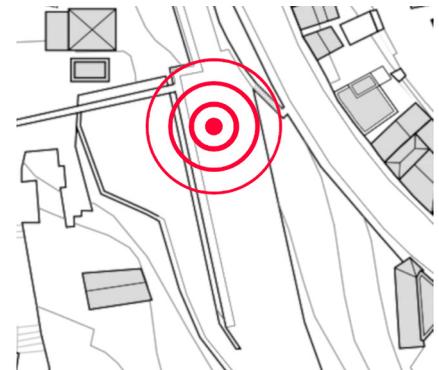
● Classe di soleggiamento Piazza delle Erbe: Molto soleggiato - 5						
N. ore	P (peso)	Fascia oraria	Ore	P (peso)	Calcolo ore fascia: ore totali = % h * P (peso fascia)	Peso totale
		09:27 - 09:30	0h03'	0,01	3' = 1% * 1 (P)	
		09:30 - 10:15	0h45'	0,20	45' = 10% * 2 (P)	
		10:15 - 16:37	6h22'	2,67	382' = 89% * 3 (P)	
7h10' (430')	2			2,88		
	2			3		5



Fig. 9

Definizione della classe di soleggiamento: analisi e metodo di calcolo in base al numero di ore e alle fasce orarie in cui il punto analizzato, a Piazzale Unità d'Italia, riceve l'irraggiamento solare il 21 giugno 2021 (per 10h50', dalle 07:30 alle 18:20, continuativamente in tre fasce orarie con peso diverso).

● Classe di soleggiamento Piazza Unità d'Italia: Molto soleggiato - 6						
N. ore	P (peso)	Fascia oraria	Ore	P (peso)	Calcolo ore fascia: ore totali = % h * P (peso fascia)	Peso totale
		07:30 - 09:30	2h00'	0,18	120' = 18% * 1 (P)	
		09:30 - 10:15	0h45'	0,14	45' = 7% * 2 (P)	
		10:15 - 18:15	8h00'	2,22	480' = 74% * 3 (P)	
		18:15 - 18:20	0h05'	0,02	5' = 1% * 2 (P)	
10h50' (650')	3			2,56		
	3			3		6



Il punto preso in considerazione a Piazzale Unità d'Italia, che si trova all'ingresso del piazzale, utilizzato a parcheggio, risulta essere molto soleggiato e, tra quelli analizzati, il più soleggiato (peso 6) essendo esposto ai raggi solari per la maggior parte della giornata (10h su un totale di 15h14') e con la maggior parte delle ore nella fascia oraria peggiore (7:30-18:20) e in particolare nelle ore più calde (Fig. 9).

Nell'analisi fatta sulle ondate di calore, era emerso che nel mese di luglio 2021, in un solo giorno (30.7.2021), e solo per poche ore nel primo pomeriggio (dalle 15:40 alle 17:50), la temperatura raggiungeva i 32-33°C e l'umidità relativa il 42-49%, e quindi il Discomfort Index di Thom era compreso nel range tra 27 e 29, che indica che "La maggioranza della popolazione prova disagio e un deterioramento dello stato psico-fisico". Si è deciso così di fare una verifica del soleggiamento/ombreggiamento, in pianta e sezione, utilizzando l'altezza solare e l'azimut, come desunti dalla carta solare, in quel giorno e in un momento all'interno dell'intervallo orario interessato, per l'esattezza alle ore 16:00, negli stessi spazi urbani già esaminati.

Da tale analisi risulta che la maggior parte di Piazza del Plebiscito a quell'ora è fortunatamente in ombra, grazie al fronte continuo di edifici che la delimita a Ovest e a Sud; dalla precedente analisi del soleggiamento, fatta nel giorno di massima elevazione solare, si era visto che il punto davanti al bar e vicino alla fontana, posta al centro della sezione della piazza, era esposto al sole solo fino alle ore 13:15; su questa base si potrebbe dire che lo spazio non sembra aver il tempo di surriscaldarsi troppo, anche se la temperatura era già alta (32,9°C) a quell'ora, ipotesi che andrà comunque verificata in base agli altri parametri da considerare (Fig. 10.1).

Lo stesso studio fatto in Piazza G. Garibaldi, all'imbocco con Via Scaloni Bielli, vicino all'ingresso del Comune, invece evidenzia che alle 16:00 la zona è in pieno sole e, ribadendo quanto emerso dalla precedente analisi fatta il giorno del solstizio d'estate, e cioè che lo spazio è molto soleggiato, dimostra che il comfort termico possa essere definito scarso e conferma che chi lo frequenta percepisce il disagio segnalato dall'indice di Thom. Queste considerazioni provano che in questa parte della piazza il livello di soleggiamento rilevato potrebbe contribuire al verificarsi del fenomeno dell'isola di calore (Fig. 10.2). Lo stesso studio, fatto all'imbocco di Via della Pace, evidenzia che la maggior parte di Piazza Garibaldi a quell'ora è in ombra, soprattutto per quanto riguarda la parte centrale della piazza, grazie al fronte continuo di edifici che la delimita a Ovest; la precedente analisi fatta il giorno del solstizio d'estate, valutava questo punto come mediamente soleggiato, e confermava che sin dalle 14:50 si trovava in ombra; considerando che il sole alla fine di luglio è un po' più basso, non sembra che in questo caso ci possa essere un surriscaldamento se non minimo, ipotesi questa che sarà verificata comunque successivamente, considerando in particolare i materiali della pavimentazione (Fig. 10.3).



Fig. 10
 Studio dell'ombreggiamento, in pianta e sezione, il 30 luglio 2021 alle ore 16:00 (Angolo di altezza solare 36°69' e azimuth: 241°82'), negli spazi urbani più frequentati del nucleo più antico del centro storico di Cave:
 1. Piazza del Plebiscito;
 2. Piazza G. Garibaldi - Via Scalonì Bielli;
 3. Piazza G. Garibaldi - Via della Pace;
 4. Piazza delle Erbe;
 5. Piazzale Unità d'Italia.

Per quanto riguarda Piazza delle Erbe, l'analisi considera le ombre portate dagli alberi presenti sulla piazza, nella parte centrale rialzata, quindi la situazione non è confrontabile con l'analisi fatta il giorno del solstizio d'estate. In particolare il punto considerato in quell'analisi, che si trova vicino ad un gazebo, risulta in ombra alle 16:00, proprio grazie alle alberature presenti, rendendo più sopportabile il grado di disagio rilevato con l'Indice di Thom, ma si tratta di una situazione contingente, in quanto meno della metà della superficie della piazza è coperta dagli alberi; senz'altro ne traggono giovamento le persone che sono in attesa alla fermata dell'autobus o che potrebbero essere sedute sulle panchine sotto gli alberi e in prossimità del gazebo, ma l'influenza sul microclima generale della piazza sembrerebbe essere relativa. Il resto della piazza è infatti completamente esposto ai raggi solari; tale situazione quindi conferma la valutazione espressa in precedenza che giudicava tale spazio molto soleggiato (Fig. 10.4).

La situazione in Piazzale Unità d'Italia resta invariata; la piazza è completamente assolata e quindi si conferma sia la valutazione fatta nella precedente analisi: spazio molto soleggiato, sia il forte disagio e il deterioramento dello stato psico-fisico rilevato dall'Indice di Thom. Si può anzi aggiungere che, se si considerassero anche le utilizzazioni, come si fa in genere in un'analisi più approfondita per la definizione dell'isola di calore, in questo spazio urbano, che viene usato come grande parcheggio, risulterebbe non solo un surriscaldamento superficiale, ma anche un surriscaldamento e un inquinamento dell'aria, a causa delle elevate temperature raggiunte dalle carrozzerie delle automobili e della possibile evaporazione della benzina sotto i raggi solari (Fig. 10.5).

Il metodo per analizzare il secondo fattore basilare del comfort termico outdoor, la ventilazione, utilizza come parametro la direzione del vento e il modo in cui esso fluisce o devia nell'ambiente urbano; per semplificare, si è deciso di considerare solo la direzione del vento più frequente nel periodo che interessa studiare. L'orientamento degli assi degli spazi urbani e la disposizione degli edifici che li fronteggiano possono migliorare o peggiorare l'apporto della ventilazione, quindi, per valutarlo, il metodo utilizza l'angolo di divergenza di ogni asse stradale rispetto alla direzione del vento più frequente; le possibili ampiezze degli angoli di divergenza sono raggruppate in tre intervalli di valori espressi in gradi (0° - 30°, 30° - 60°, 60° - 90°); i pesi (da 1 a 3), che contraddistinguono le classi di ventilazione, vengono assegnati in base all'appartenenza a tali intervalli degli angoli di divergenza rilevati, attribuendo il punteggio più alto alla situazione più sfavorevole per la stagione in analisi; ogni classe è rappresentata da un simbolo grafico lineare che viene utilizzato nella rappresentazione in planimetria. Nel caso del periodo estivo, una totale assenza di barriere poste in direzione del vento più frequente, l'assenza di un angolo di divergenza o l'angolo di divergenza minore (0° - 30°) sono valutate come le situazioni più favorevoli, in quanto agevolano l'ingresso del vento più frequente negli spazi analizzati, anche in presenza di cortine edilizie, migliorandone il comfort termico, mentre l'ubicazione entro un'area di calma di vento o la presenza di un angolo di divergenza maggiore (60° - 90°) sono valutate come le più sfavorevoli, in quanto non agevolano l'ingresso del vento più frequente negli spazi analizzati, o addirittura ne deviano il flusso in presenza di cortine edilizie, impedendo così di creare un movimento d'aria atto a rinfrescarli. A questa prima valutazione possono essere aggiunte anche alcune ulteriori caratteristiche dello spazio urbano che incidono sulla ventilazione, come per esempio: la presenza di barriere, orografiche o vegetali, che riducono il flusso di vento; uno spazio ubicato all'esterno di un'area di calma di vento o strutturato in modo da filtrare o incanalare il flusso del vento. Tutti aspetti che incidono sulla valutazione dell'apporto della

CLASSIFICAZIONE DELLA VENTILAZIONE			
Divergenza rispetto alla direzione del vento più frequente	Classe	Peso	Simbologia
$0^\circ \leq d \leq 30^\circ$ Ampi spazi aperti al vento più frequente	Molto ventilato	1	— — —
$30^\circ < d \leq 60^\circ$	Mediamente ventilato	2	— . —
$60^\circ < d \leq 90^\circ$ Ampi spazi in area di calma	Poco ventilato	3

POSSIBILI INCREMENTI O DECREMENTI DI PESO DELLE CLASSI	
Caratteristiche Urbane: morfologiche, topografiche e vegetali	Decremento - Incremento
Spazi posizionati oltre le aree di calma di vento; elementi di filtraggio o canalizzazione che migliorano il flusso del vento	-
Barriere topografiche o vegetali che riducono il flusso di vento	+

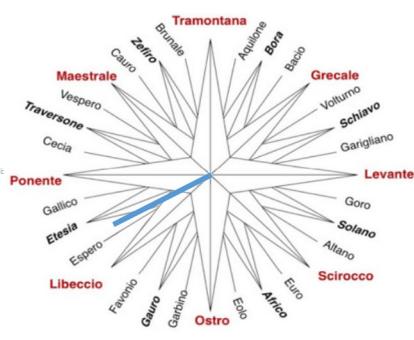
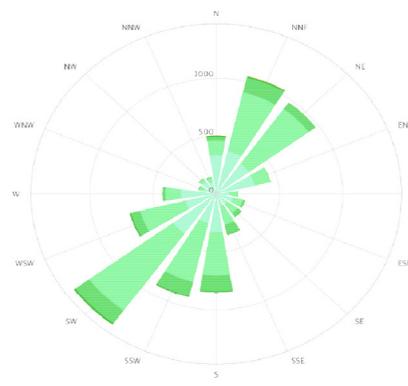
in alto,

Fig. 11

Definizione delle classi di ventilazione e dei relativi pesi in funzione di tre intervalli, che misurano l'angolo di divergenza tra l'orientamento degli spazi analizzati e la direzione del vento più frequente e vagliano le situazioni di apertura e chiusura di tali spazi al vento considerato. Questa valutazione può essere affinata in base a specifiche caratteristiche urbane; i valori maggiori e gli incrementi indicano le situazioni più sfavorevoli per la stagione estiva.

Velocità e direzione del vento rilevate nel 2021 a Cave

Mese dell'anno	Periodo estivo di riferimento											
	gen 01	feb 02	mar 03	apr 04	mag 05	giu 06	lug 07	ago 08	set 09	ott 10	nov 11	dic 12
Direzione del vento più frequente (dalla direzione indicata dall'angolo, verso la direzione della freccia)	↙	↙	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↘	↘	↘	↘
	111°	150°	259°	227°	231°	229°	241°	241°	241°	140°	115°	310°
Velocità del vento media (km/h)	2.9	2.8	3.4	3.4	3.6	2.2	2.7	2.6	1.5	1.5	2.4	5.5
Velocità del vento massima (km/h)	101.5	67.3	47.9	57.6	57.6	52.9	52.9	52.9	47.9	47.9	52.9	77
Potenza (da Vmax vento)							7	7				
Potenza (da Vm vento)							1	1				



Direzione del vento in gradi sessagesimali	Punto cardinale di provenienza	Nome del vento
225°	sud-ovest (SO)	Libeccio
236° 15'		Espero
247° 30'	ovest-sud-ovest (OSO)	Etesia
258° 45'		Gallico
270°	ovest (O)	Ponente

a fianco,

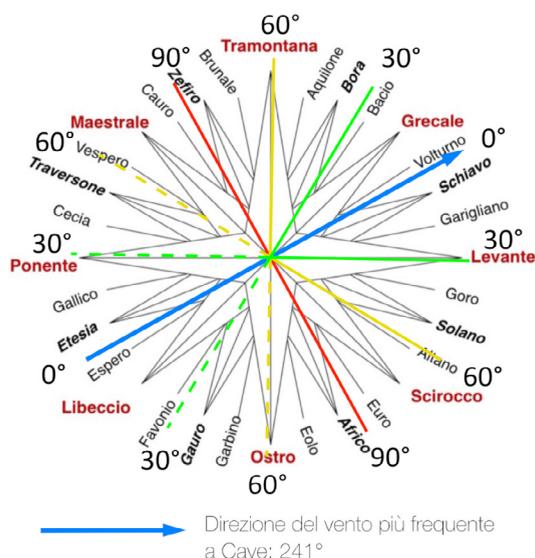
Fig. 12

Regime dei venti a Cave (Roma): l'analisi, centrata sui due mesi estivi più caldi, luglio e agosto, è finalizzata a definire il vento più frequente e le sue caratteristiche, in particolare l'angolo di inclinazione rispetto al nord: 241°. (Cfr. Credits).

La rosa dei venti per Cave mostra per quante ore all'anno il vento soffia dalla direzione indicata.

ventilazione e che, pur non motivando un completo salto di classe, possono essere considerati come incrementi o decrementi del peso già definito, aiutando a mettere in graduatoria gli spazi urbani analizzati in modo ancora più preciso. Nella valutazione, gli incrementi sono identificati con il segno “+” e i decrementi con il segno “-” (Fig. 11). Per lo studio della ventilazione ci si è avvalsi, oltre che dei dati dell'Osservatorio Meteorologico e Sismologico di Cave (Roma), già citato (cfr. Par. 7.6.6.1), di dati disponibili sul web²⁷. Il primo passo è stato definire il vento più frequente nei mesi estivi più caldi, luglio e agosto, già considerati per le ondate di calore. Il vento più frequente, in entrambi i mesi, nel 2021, risulta spirare da Ovest-Sud Ovest, con una inclinazione di 241° e una velocità media di 2,65 km/h, che nella scala di Beaufort è definita come Forza 1: bava di vento (con velocità massima di 52,9 km/h, che nella scala di Beaufort è definita come Forza 7: vento forte). Nella rosa dei venti si riscontra che questa inclinazione si trova circa a metà tra due venti: l'Etesia, con OSO come punto cardinale di riferimento e un'inclinazione di 247°30', e l'Espero, leggermente più a SO, con un'inclinazione di 236°15' (Fig. 12).

²⁷ I dati provengono anche da alcuni siti meteo e di telerilevamento, in particolare dall'archivio di: meteopalestrina.it, che raccoglie i dati di diverse centraline meteorologiche pubbliche e private, e da: meteoblu.com



da sinistra,
Fig. 13
 La foto aerea evidenzia come la struttura urbana, possa facilitare o meno l'ingresso del flusso del vento più frequente in estate, proveniente da Ovest-Sud Ovest. In tal senso è anche importante considerare che il borgo, seguendo la topografia, ha una conformazione piramidale.

Fig. 14
 La misurazione degli angoli di divergenza degli assi stradali dalla direzione in cui soffia il vento più frequente, va fatta considerando un ideale sistema di assi cartesiani a due quadranti, in cui la direzione del vento più frequente è l'asse delle ordinate che li divide e ogni asse viario è una retta che inizia dall'origine degli assi, passa per un punto che si trova su un piano definito dall'asse delle ordinate (0°) e dall'asse delle ascisse (90°) e forma un angolo con la direzione del vento più frequente, la cui ampiezza varia da 0°, coincidente con l'asse delle ordinate, a 90°, coincidente con l'asse delle ascisse.

Una foto aerea della parte più antica di Cave, allo stato attuale, fa comprendere facilmente la struttura urbana, che segue le curve di livello, con uno sviluppo piramidale, secondo un impianto avvolgente e a fuso, e il nesso che essa ha con il vento più frequente estivo. La cortina edilizia nella zona ovest forma una barriera che è interrotta da alcuni vuoti urbani, che fungono da affacci verso la vallata e permettono al vento di penetrare e dirigersi verso l'interno del nucleo urbano; dove essa si fa più rada per poi interrompersi e l'elevazione aumenta, le aree, più o meno aperte, sono piuttosto esposte al vento che viene da Ovest-Sud Ovest (Fig. 13).

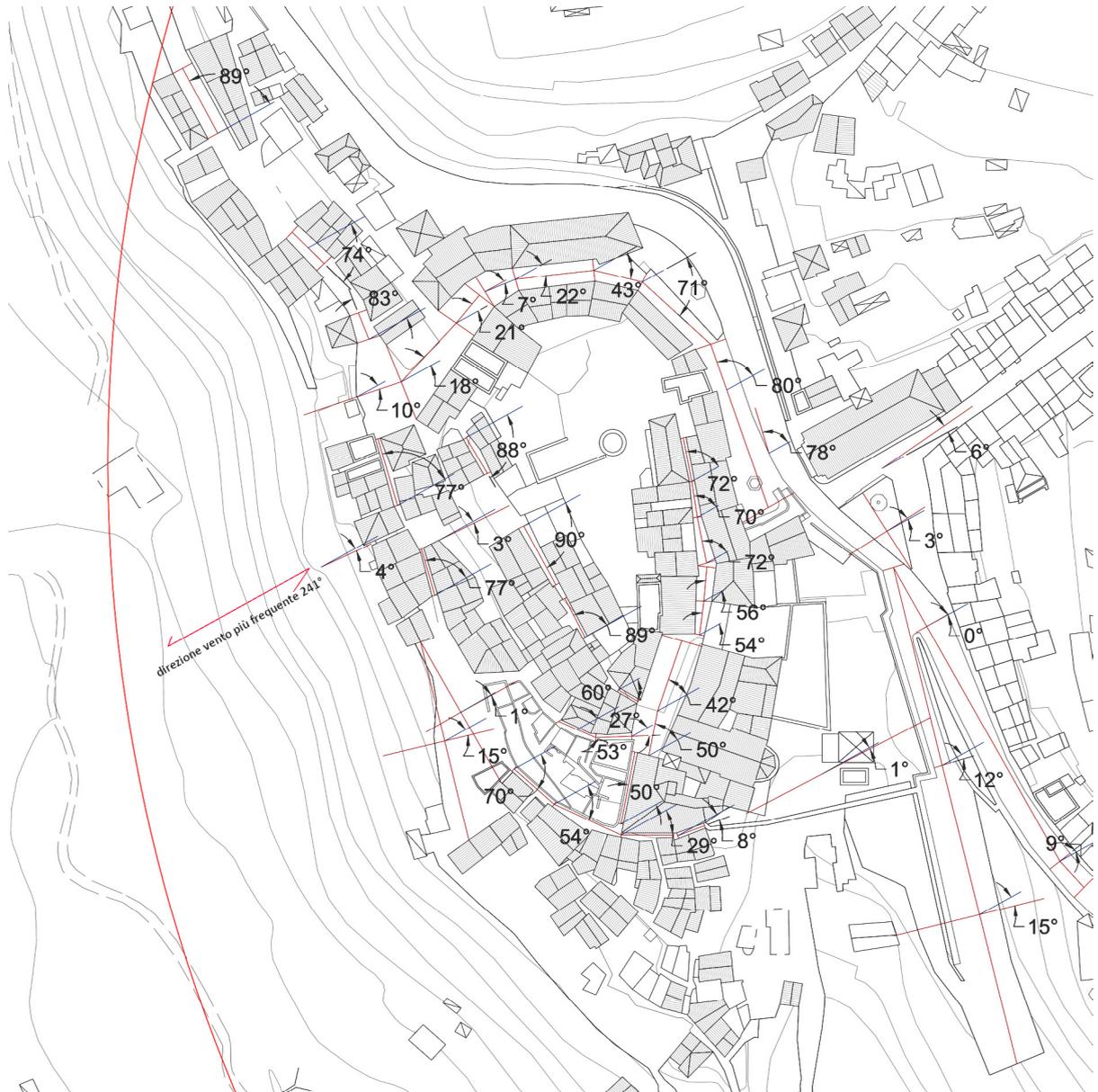
Secondo il metodo sopra descritto, per valutare gli effetti del vento più frequente sulla ventilazione, e quindi sul potenziale raffrescamento dei tratti di percorso del nucleo più antico del centro storico di Cave, precedentemente analizzati nello studio del soleggiamento, è necessario definire le ampiezze degli angoli di divergenza rispetto alla direzione del vento più frequente; a tale scopo vengono fornite indicazioni²⁸ specifiche per il caso del vento più frequente a Cave (Fig. 14).

L'osservazione della conformazione del borgo, insieme alla misurazione degli angoli di divergenza riportati in planimetria, permette di analizzare meglio sia i vuoti urbani sul margine sia i percorsi e gli spazi all'interno e verificare la loro possibile mutua influenza. Il primo affaccio sulla vallata, largo circa 30 m, che si trova nella parte nord del nucleo urbano, viene investito dal vento più frequente e lo convoglia verso Via Roma, uno dei percorsi anulari del borgo, con angoli di divergenza di piccola ampiezza (tutti inferiori a 30°); il secondo, che si trova nella parte più a sud, adiacente a Via Concordia, ampio circa il doppio, lo convoglia verso un altro spazio aperto e poi, con più difficoltà (angoli di divergenza di circa 50°), verso Piazza G. Garibaldi, nel cuore del piccolo borgo. I percorsi all'interno del borgo, per la maggior parte molto stretti, presentano angoli di divergenza di ampiezza variabile dai 70° ai 90° rispetto alla direzione del vento più frequente, e risultano quindi usufruire poco del flusso del vento nel periodo analizzato, oltre a essere spesso caratterizzati da aree di calma. Un caso interessante è rappresentato da due spazi vuoti, posti in continuità, a livelli diversi, e delimitati, in alto dalla cortina edilizia di Via Piè di Palazzo e in basso da quella che delimita il borgo; in essi potrebbe arrivare un flusso d'aria grazie a un corto vicolo che, spaccando la continuità edilizia ed essendo posto in direzione del vento più frequente, potrebbe convogliarlo, per canalizzazione, verso i suddetti spazi aperti (Fig. 15).

²⁸ La misurazione degli angoli di divergenza degli assi stradali dalla direzione in cui soffia il vento più frequente, va fatta considerando un ideale sistema di assi cartesiani a due quadranti, in cui la direzione del vento più frequente è l'asse delle ordinate che li divide e ogni asse viario è una retta che inizia dall'origine degli assi, passa per un punto che si trova su un piano definito dall'asse delle ordinate (0°) e dall'asse delle ascisse (90°) e forma un angolo con la direzione del vento più frequente, la cui ampiezza varia da 0°, coincidente con l'asse delle ordinate, a 90°, coincidente con l'asse delle ascisse. In presenza di spazi senza un asse prevalente, come per esempio gli slarghi, le piazze, i vuoti urbani, o aperti al vento più frequente, si considera l'asse più allineato con la direzione del vento più frequente; se ci sono barriere che creano aree di calma di grandi dimensioni, si considera l'asse opposto.

Fig. 15

Applicando le indicazioni fornite, sono state definite le ampiezze degli angoli di divergenza rispetto alla direzione del vento più frequente in tutti i tratti di percorso del nucleo più antico del centro storico di Cave, precedentemente analizzati nello studio del soleggiamento. In presenza di spazi senza un asse prevalente (come per esempio slarghi, piazze, vuoti urbani) o aperti al vento più frequente, si considera l'asse più allineato con la direzione del vento più frequente; se ci sono barriere che creano aree di calma di grandi dimensioni, si considera l'asse opposto.



Queste considerazioni sono state verificate sul modello tridimensionale già elaborato per lo studio del soleggiamento, impiegando uno dei programmi di simulazione a disposizione²⁹, che fornisce indicazioni sulle ombre di vento prodotte dal flusso d'aria quando incontra ostacoli lungo il suo percorso. Nella stessa planimetria sono state riportate graficamente le classificazioni degli spazi urbani considerati, in base agli angoli di divergenza dei loro assi rispetto alla direzione del vento più frequente (Fig. 16).

²⁹ Il software utilizzato è 3D Sketchup Pro, con plugin Virtual Wind, che fa un'analisi di massima dei flussi del vento, utilizzando velocità e direzione, e rileva le zone di calma; queste sono state riportate poi in planimetria con software grafico (GIMP). Attualmente sono disponibili software di vario tipo, e quindi accessibili a tutti, per fare simulazioni fluidodinamiche computazionali; tra i più usati: Ansys, Autodesk CFD, Dlubal e SIMSCALE; quest'ultimo è in particolare molto usato perché può funzionare da un semplice browser, sfruttando le potenzialità del cloud computing, e ha inoltre la possibilità di importare modelli di studio elaborati con i più diffusi software di modellazione 3D (Revit, Sketchup, Rhino, etc.).

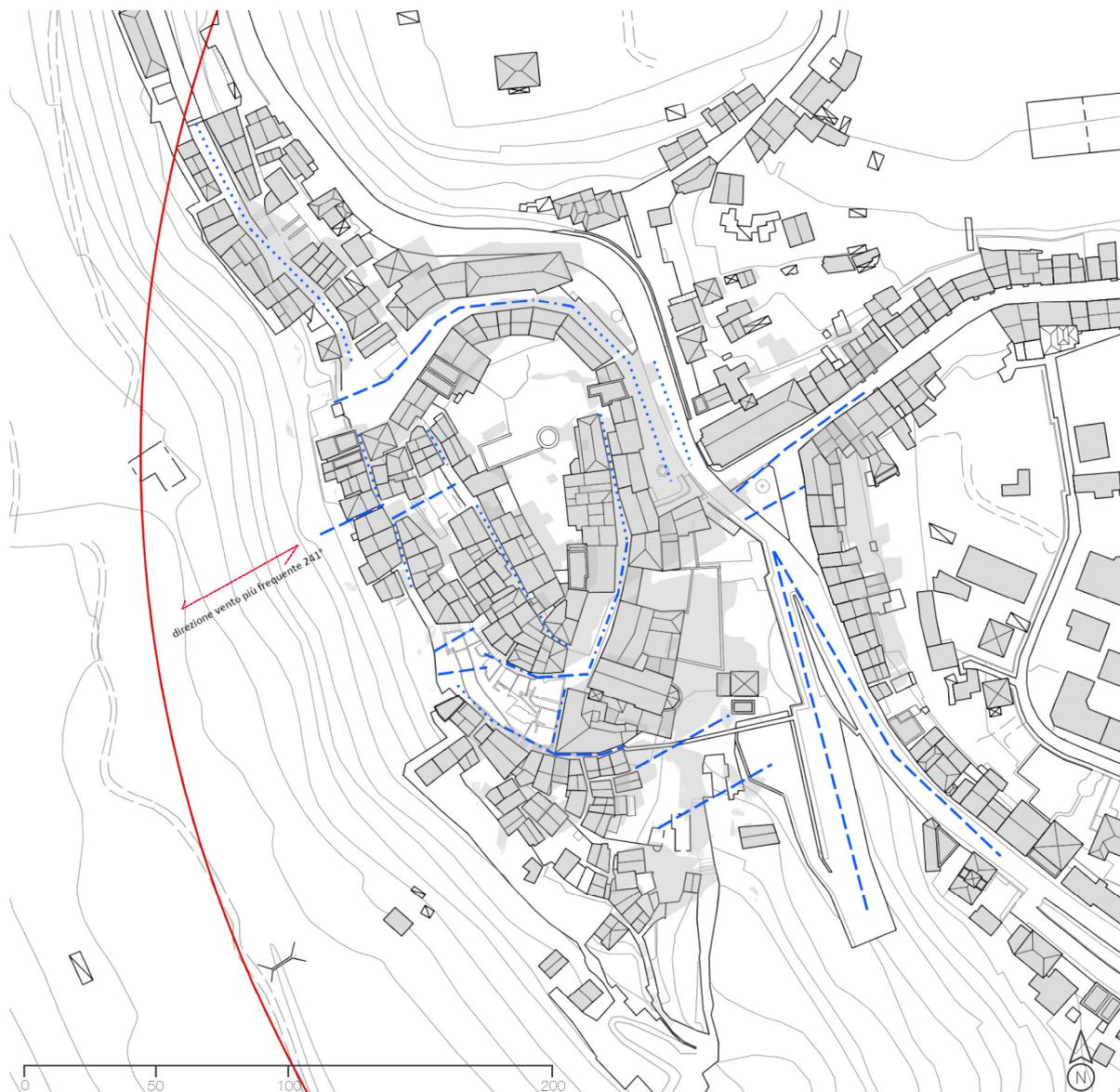


Fig. 16
 Studio generale sull'apporto della ventilazione negli spazi urbani del nucleo più antico del centro storico di Cave nei due mesi estivi, luglio e agosto: classificazione in base agli angoli di divergenza degli assi viari rispetto alla direzione del vento più frequente, che spira da Ovest-Sud Ovest con un angolo di 241°, e rappresentazione approssimata delle ombre di vento.

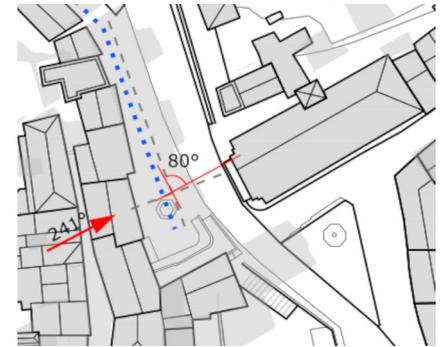
Legenda	
Angolo di divergenza	Classe di ventilazione
$0^\circ \leq d \leq 30^\circ$	Molto ventilato - - - -
$30^\circ \leq d \leq 60^\circ$	Mediamente ventilato - · - ·
$60^\circ \leq d \leq 90^\circ$	Poco ventilato · · · · · ·

Per poter poi valutare l'apporto sinergico dei tre fattori considerati, lo studio è proseguito ed è stato approfondito negli stessi cinque spazi urbani più frequentati dove è già stato svolto lo studio del soleggiamento. L'orientamento dell'asse di Piazza del Plebiscito ha un angolo di divergenza rispetto al vento più frequente che ricade nell'intervallo tra 60° e 90°, quindi la ventilazione che viene da Ovest-Sud Ovest non è assolutamente agevolata e lo spazio viene classificato come "poco ventilato" (peso 3). La cortina edilizia curvilinea continua, che delimita la piazza a Ovest e a Sud, aggrava ulteriormente la situazione, visto che non è mai interrotta, se non in un punto, da un passaggio voltato, che potrebbe essere considerato un elemento di canalizzazione, ma poiché la ventilazione presente nella parte nord di Via della Pace è scarsa (angolo di divergenza di 72°), probabilmente dà un

Fig. 17

Definizione della classe di ventilazione: analisi e metodo di valutazione in base all'ampiezza dell'angolo di divergenza dell'asse di Piazza del Plebiscito rispetto alla direzione del vento più frequente, che in luglio e agosto spira da Ovest-Sud Ovest con un angolo di 241°, e in base all'ingombro della scia, legata alle dimensioni relative della cortina edilizia che, delimitando la piazza a Ovest-Sud Ovest, costituisce una barriera al vento prevalente.

Classe di ventilazione Piazza del Plebiscito: Poco ventilato – 3			
Divergenza rispetto alla direzione del vento più frequente	Classe	Peso	Simbologia
60° < d < 90° Ampi spazi in area di calma	Poco ventilato	3



apporto solo locale, vista la posizione marginale e sopraelevata rispetto alla piazza. La cortina edilizia che delimita la piazza a Ovest-Sud Ovest determina una scia di notevole estensione, legata alle dimensioni relative (larghezza, altezza e sviluppo longitudinale) della sequenza di edifici; perciò la piazza, che si trova sottovento rispetto ai suddetti edifici, è tutta interessata da una zona di calma (Fig. 17).

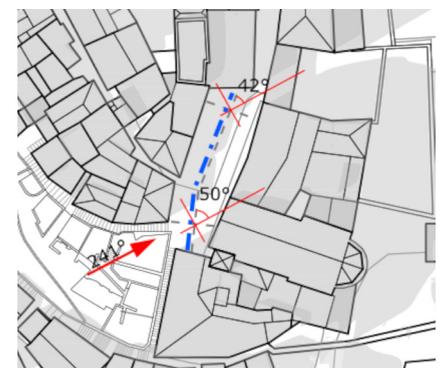
Lo studio prosegue con l'analisi di Piazza G. Garibaldi, che è composta da due parti, con inclinazioni degli assi longitudinali leggermente diverse e con forme diverse: una a sud, più corta, davanti alla chiesa e al Comune, a forma di tronco di piramide rovesciato, e l'altra più lunga, di forma quasi rettangolare, che costituisce la parte centrale e si sviluppa verso nord; si sono perciò presi in considerazione due punti. Il primo si trova all'imbocco della piazza, venendo da Via Scalonì Bielli e Via Indipendenza, vicino all'ingresso del Comune; per ipotizzare cosa può accadere in questo punto, è necessario ampliare la visuale e considerare che il vento più frequente, da Ovest-Sud Ovest, può arrivare fino ai margini della piazza, grazie all'ampio vuoto urbano dovuto a un insieme di edifici demoliti e ruderi bassi, che si trovano tra Via Concordia, Via Indipendenza e Via Scalonì Bielli; quindi, questa parte della piazza, a sud, che ha un asse longitudinale che forma un angolo di divergenza rispetto al vento più frequente contenuto nell'intervallo tra 30° e 60°, può essere classificata come "mediamente ventilata" (peso 2). L'apporto di ventilazione potrebbe anche essere maggiorato perché l'imbocco alla piazza è delimitato da due edifici ad angolo: nello spazio tra gli spigoli di questi due edifici il vento viene incanalato verso la piazza, e forse anche accelerato, per un possibile effetto Venturi. Dall'analisi del secondo punto, situato all'estremità nord della piazza, si può dire che anche questa parte può essere classificata come "mediamente ventilata" (peso 2), essendo caratterizzata da un asse longitudinale che forma un angolo di divergenza minore, ma sempre all'interno dello stesso range. Occorre poi fare una precisazione in merito alla porzione ovest della piazza; questa si trova, per buona parte della sua larghezza, in una zona di calma di vento, legata non solo alla direzione del vento più frequente ma anche alle dimensioni relative del blocco compatto di edifici che la delimitano a sinistra; la parte centrale della piazza quindi avrà una ventilazione da mediamente a poco ventilata, secondo i punti più o meno vicini alle facciate. La posizione del secondo punto analizzato nella parte terminale della piazza, delimitata dalla facciata di un edificio che lascia libero solo l'accesso a Via della Pace, è interessante proprio per capire cosa succede all'imbocco della via, che è molto stretto; qui, a causa della sua dimensione, dell'inclinazione dei fronti edilizi e dell'asse longitudinale (angolo di divergenza 54° con la direzione del vento più frequente), la conformazione del limite, difficilmente potrebbe innescare un effetto Venturi, anzi le facciate a est, che il vento incontra subito dopo aver imboccato la via, potrebbero deviarlo verso l'alto, formando una scia, sottovento rispetto agli edifici, al di là della piazza (Fig. 18).

Fig. 18

La valutazione fatta in due punti di Piazza G. Garibaldi, sulla base dell'ampiezza degli angoli di divergenza rispetto alla direzione del vento più frequente in luglio e agosto 2021 (OSO 241°), definisce entrambi mediamente ventilati. L'ulteriore valutazione, in base ad altre caratteristiche urbane, li differenzia, considerando che, nel punto a sud della piazza, l'apporto di ventilazione possa migliorare per l'eventuale canalizzazione del vento, grazie alla disposizione degli edifici all'imbocco verso la piazza.

Classe di ventilazione Piazza G. Garibaldi - Via Scalonì Bielli e Piazza G. Garibaldi - Via della Pace: Mediamente ventilato – 2			
Divergenza rispetto alla direzione del vento più frequente	Classe	Peso	Simbologia
30° < d ≤ 60°	Mediamente ventilato	2	- . - . - .

Possibili incrementi o decrementi di peso delle classi: Piazza G. garibaldi - Via Scalonì Bielli	
Caratteristiche Urbane: morfologiche, topografiche e vegetali	Decremento - incremento
Elementi di filtraggio o canalizzazione che migliorano il flusso del vento	-



Classe di ventilazione Piazza delle Erbe: Molto ventilato - 1			
Divergenza rispetto alla direzione del vento più frequente	Classe	Peso	Simbologia
0° ≤ d ≤ 30° Ampi spazi aperti al vento più frequente	Molto ventilato	1	---

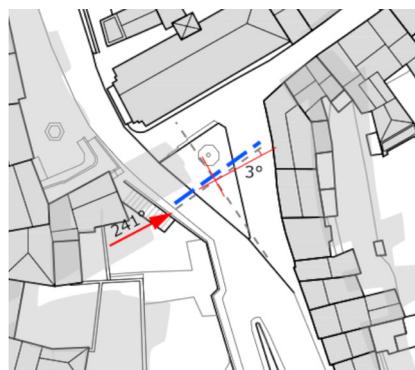


Fig. 19
Definizione della classe di ventilazione in base all'ampiezza dell'angolo di divergenza rispetto alla direzione del vento più frequente e all'ingombro della scia che, in questo caso, per le dimensioni e la conformazione della barriera e della piazza riveste un ruolo marginale. La classificazione considera quindi Piazza delle Erbe aperta in direzione del vento più frequente.

Il caso di Piazza delle Erbe è più particolare; essa ha una forma di tipo triangolare, con cortine edilizie sui due fronti e aperta sul terzo, piuttosto ampio e rivolto proprio a Sud-Sud Ovest; il vento più frequente, che proviene da questa direzione, può quindi invadere la piazza che risulta così caratterizzata da una buona ventilazione (peso 1). Ciò è possibile perché il rapporto tra profondità e altezza della barriera, costituita dagli edifici che il vento incontra nel suo percorso di avvicinamento, comporta una scia che interessa solo in modo marginale la piazza (Fig. 19).

Piazzale Unità d'Italia è uno spazio rettangolare stretto e lungo, posizionato lungo una curva di livello intermedia di una scarpata, delimitato solo su uno dei lati lunghi, a Est, dalla parte superiore della scarpata stessa, affacciato sul canalone sottostante e completamente aperto a Sud-Sud Ovest; la posizione e la conformazione dello spazio portano a considerarlo come molto ventilato (peso 1). Il vento più frequente arriva al piazzale, situato a mezza costa, nella sua salita lungo il colle su cui si trova il nucleo più antico di Cave; in tale percorso affronta varie rugosità, costituite dalle scarpate di alcuni terrazzamenti, uno dei quali delimita proprio il piazzale a est, causando possibili turbolenze nella zona sopravvento, in prossimità della scarpata (Fig. 20).

Classe di ventilazione Piazza dell'Unità d'Italia: Molto ventilato - 1			
Divergenza rispetto alla direzione del vento più frequente	Classe	Peso	Simbologia
0° ≤ d ≤ 30° Ampi spazi aperti al vento più frequente	Molto ventilato	1	---

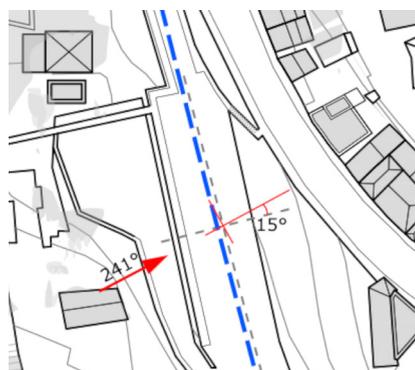


Fig. 20
Definizione della classe di ventilazione in base all'ampiezza dell'angolo di divergenza dell'asse di Piazzale Unità d'Italia e alla sua notevole esposizione al vento più frequente, legata alle sue caratteristiche topografiche.

Sempre con l'intento di semplificare il lavoro di indagine, lo studio del terzo fattore considerato, che concerne i materiali, è stato limitato ai materiali, naturali e artificiali, che costituiscono la superficie orizzontale, a livello del suolo, degli spazi urbani, per analizzare il rapporto tra incidenza dei raggi solari e comportamento dei materiali durante i mesi più caldi. I diversi materiali rilevati sono riportati in planimetria utilizzando diverse colorazioni (Fig. 21). Tenendo in considerazione il fatto che i materiali, assorbendo la radiazione solare incidente, accumulando calore e cedendolo al calar del sole e con la diminuzione della temperatura dell'aria, tendono a surriscaldare l'ambiente dell'invaso stradale, la valutazione si basa sulla misura del rapporto tra intensità di radiazione incidente e riflessa e misura l'albedo delle superfici, che può variare da un minimo di 0, quando nessuna frazione di radiazione incidente viene riflessa, a un massimo di 1, quando tutta la radiazione incidente viene riflessa. La diversa capacità di riflessione dei materiali è articolata in tre intervalli di valori (0 - 0,3; 0,4 - 0,6; 0,7 - 0,9 non considerando 1, che in genere è un massimo difficilmente rilevabile in ambiente urbano), che corrispondono a tre classi di valutazione (con peso da 1 a 3) dell'apporto dei materiali: riflettenti, mediamente assorbenti, assorbenti, dove il peso maggiore corrisponde alla situazione peggiore per la stagione estiva. In estate ai materiali chiari, riflettenti, con un'albedo alta (per es.: marmo bianco, pietra chiara, etc.), che sono considerati positivi, viene attribuito un peso basso, mentre ai materiali scuri, assorbenti, con un'albedo bassa (asfalto nero, calcestruzzo scuro, ardesia, porfido etc.), che sono considerati negativi, è attribuito un peso alto. Ogni classe viene contraddistinta da un simbolo grafico (Fig. 22).

Fig. 21

Definizione dell'albedo dei materiali, naturali e artificiali, che costituiscono le superfici orizzontali, a livello del suolo, degli spazi urbani del nucleo più antico del centro storico di Cave; classificazione e rappresentazione simbolica in planimetria.



Legenda	
Materiali	Valore albedo
	Pietra chiara 0,8
	Sampietrino 0,4
	Verde 0,25
	Asfalto 0,1

Fig. 22

Definizione delle classi in funzione di tre intervalli che misurano l'albedo dei materiali. I valori più alti, nella scala dei pesi attribuiti a ogni classe, indicano la situazione più sfavorevole per la stagione estiva.

Classificazione dei materiali: naturali e artificiali			
Range albedo	Classe	Peso	Simbologia
0,7 - 0,9	Riflettenti	1	
0,4 - 0,6	Mediamente assorbenti	2	
0,0 - 0,3	Assorbenti	3	

I materiali rilevati sono valutati e classificati secondo gli intervalli di albedo prefissati; le classi sono rappresentate nella planimetria dai rispettivi simboli grafici (Fig. 21).

Gli stessi cinque spazi urbani più frequentati, dove è già stato svolto sia lo studio del soleggiamento che della ventilazione, vengono elencati e classificati in base al materiale che costituisce il loro piano di calpestio. La situazione è analoga nella maggior parte degli spazi considerati; Piazza del Plebiscito, Piazza Garibaldi-Via Scalonì Bielli, Piazza Garibaldi-Via della Pace e Piazza delle Erbe hanno tutti una pavimentazione in Sampietrini, con posa in opera tradizionale di blocchetti costituiti da una pietra naturale locale, utilizzata anche a Roma: la leucitite, che ha un colore di fondo grigio più o meno scuro, spesso nominata come basalto, con un valore di albedo 0,4³⁰, classificata come mediamente assorbente, con peso 2; Piazzale Unità d'Italia è invece caratterizzato da una pavimentazione in conglomerato bituminoso, tipica di una strada carrabile, con un valore di albedo 0,1, classificata come molto assorbente, con peso 3. In conclusione si può dire che la situazione di Cave non è delle migliori da questo punto di vista (Fig. 23).

Spazi urbani	Albedo	Classe	Peso
Piazza del Plebiscito, Piazza Garibaldi - Via Scalonì Bielli e Via della Pace, Piazza delle Erbe	0,4 - 0,6	Mediamente assorbenti	2
Piazzale Unità d'Italia	0,0 - 0,3	Assorbenti	3

Fig. 23

Elenco dei cinque spazi urbani presi a campione a Cave, classificazione in base all'apporto che i materiali utilizzati forniscono, per il miglioramento o peggioramento del microclima urbano, e attribuzione del peso corrispondente.

La rappresentazione grafica dei risultati delle valutazioni fatte sui tre fattori basilari considerati per il comfort termico: il soleggiamento, la ventilazione e i materiali, naturali e artificiali, di copertura del suolo, permette di capirne la reciproca influenza e di intuire il livello di pericolosità dei vari spazi considerati; la somma dei diversi pesi dei tre fattori considerati in sinergia consente di classificare gli spazi urbani analizzati e di porli poi in ordine di priorità in relazione alla loro maggiore o minore pericolosità, valutata in base alla possibilità che vi si verifichi il fenomeno dell'isola di calore. Una tabella finale di sintesi elenca gli spazi, gli apporti pesati dei tre fattori e il risultato ottenuto (con un possibile peso totale che può variare da min.4 a max.12); in questa tabella, oltre ai cinque spazi sin qui trattati, si è aggiunto anche lo spazio centrale di Piazza Garibaldi che, essendo baricentrico tra gli altri due, può essere facilmente desunto.

Da questa analisi integrata, Piazzale dell'Unità d'Italia risulta essere lo spazio urbano dove è più facile che si inneschi un fenomeno di isola di calore, infatti, nonostante l'apporto della ventilazione, il materiale della pavimentazione stradale molto assorbente e il perdurare del soleggiamento nell'arco della giornata sono preponderanti nel bilancio termico. Anche in Piazza del Plebiscito e Piazza Garibaldi, nella parte sud, è possibile che si presenti il fenomeno, visto che si distaccano dal primo per un solo punto, con la differenza che all'imbocco a sud del secondo spazio è possibile che, grazie ad un particolare effetto della ventilazione, segnato già come un decremento, esso venga mitigato. Negli altri tre spazi, i due che costituiscono la parte restante di Piazza Garibaldi e Piazza delle Erbe, la situazione sembra essere equivalente, ed è leggermente migliore (Fig. 24 e Fig. 25).

Si sono fatte poi alcune ulteriori considerazioni per verificare l'eventuale presenza, in questi spazi, di aspetti che potrebbero contribuire a graduare ancor più i livelli già definiti. In tal senso si potrebbe dire che Piazza delle Erbe ha una situazione migliore di quella già definita, dovuta alla presenza di alberature anche se esse, come già detto, coprono meno della metà della sua superficie, quindi si potrebbe aggiungere un doppio decremento di peso, dato che l'ombra diminuisce anche il periodo di esposizione del materiale di pavimentazione all'irraggiamento solare. Si potrebbe anche dire che la situazione di Piazza del Plebiscito potrebbe essere leggermente migliore di quella di Piazza Garibaldi, visto che la prima inizia a trovarsi in ombra già poco dopo le 13:00, ed è completamente in ombra alle 16:00, quindi il materiale della pavimentazione presenta un lasso di tempo inferiore per assorbire calore e lo fa nelle ore meno calde, inoltre essa risulta in posizione più aperta, anche se probabilmente ancora sotto l'ombra di vento causata dalla cortina edilizia che la delimita a Ovest e a Sud; anche in questo caso quindi si potrebbe aggiungere un piccolo decremento di peso e si potrebbe dire che presenta un livello di pericolosità leggermente minore di Piazza Garibaldi. Si potrebbe inoltre dire che la situazione di Piazza Garibaldi-Via della Pace potrebbe

³⁰ Per i valori dell'albedo si è fatto riferimento a: Table 1: Emissivity and albedo coefficients of building materials, inserita in un articolo specifico dedicato alle pavimentazioni in Sampietrini (Moretti, L. *et al.*, 2021)

Fig. 24

Le valutazioni degli apporti forniti dai tre fattori basilari per la definizione del comfort termico: il soleggiamento, la ventilazione e i materiali sono rappresentate in contemporanea sulla planimetria, collocando i diversi simboli in ognuno degli spazi urbani analizzati, situati nel nucleo più antico del centro storico di Cave.



Fig. 25

La valutazione complessiva della pericolosità, dovuta al verificarsi del fenomeno dell'isola di calore negli spazi analizzati, risulta dalla somma dei pesi attribuiti ai tre fattori considerati e agli eventuali decrementi/incrementi legati a specifiche caratteristiche urbane.

Valutazione della pericolosità a Cave				
Spazi urbani	Peso soleggiamento	Peso vento	Peso materiali	TOTALE
1. Piazza del Plebiscito	4	3	2	9
2. Piazza Garibaldi - Via Scalonì Bielli	5	2 -	2	9 -
3. Piazza Garibaldi - Via della Pace	4	2	2	8
4. Piazza delle Erbe	5	1	2	8
5. Piazzale Unità d'Italia	6	1	3	10
6. Piazza Garibaldi - zona centrale	4	2	2	8

essere considerata leggermente migliore di quella della parte centrale di Piazza Garibaldi, in quanto sembra godere di una maggior quantità di ombra, ma potrebbe anche fruire di una minor ventilazione, quindi la situazione non giustifica un reale decremento. Piazzale dell'Unità d'Italia, che è già risultato il più pericoloso, presenta un ulteriore aspetto che ne accresce la pericolosità, e che quindi può essere considerato un incremento della valutazione già fatta: la sua destinazione d'uso a parcheggio; il forte soleggiamento, infatti, non solo tende a surriscaldare tutte le lamiere delle automobili parcheggiate, che raggiungono così temperature molto elevate e quindi aumentano la temperatura dell'aria circostante, ma agevola anche l'evaporazione della benzina e quindi le esalazioni che incidono sull'inquinamento dell'aria. Una tabella finale elenca gli spazi analizzati per livello di pericolosità e li pone in ordine di priorità decrescente, considerando i valori maggiori come i peggiori per la stagione estiva. A seguito delle considerazioni precedenti, gli spazi che ricadono nello stesso intervallo di pericolosità media, pur mantenendo la stessa valutazione pesata, possono essere leggermente diversificati grazie ai piccoli decrementi aggiunti agli spazi che presentano sfumature positive (Fig. 26).

Per la valutazione finale del rischio, i valori risultanti dall'analisi combinata dei tre fattori considerati vengono raggruppati in tre classi di pericolosità: alta, media e bassa, contrassegnate da tre colori, che seguono sempre la stessa logica usata per le ondate di calore (cfr. Par. 7.6.6.3); ogni classe è paragonabile a un intervallo di valori (10-12, 6-9, 3-5) desunti dai massimi e minimi valori conseguibili nelle varie combinazioni dei tre fattori, dove i valori maggiori corrispondono, come sempre, alla situazione peggiore per la stagione estiva (Fig. 27). Per una lettura immediata, la valutazione dei tre livelli di pericolosità può essere riportata sulla planimetria distinguendo gli spazi secondo i colori assegnati alle tre classi di pericolosità (Fig. 28).

Se il numero di spazi analizzati è notevole o se i fattori analizzati sono molti, come già detto, i valori risultanti dall'analisi combinata possono essere raggruppati in più classi di pericolosità, fino a 5 (Molto Alta, Alta, Media, Bassa, Molto Bassa).

Spazi urbani analizzati a Cave	
1. Piazzale Unità d'Italia	10 +
2. Piazza del Plebiscito	9 -
3. Piazza Garibaldi - Via Scalonì Bielli	9 -
4. Piazza Garibaldi - Via della Pace	8
5. Piazza Garibaldi - zona centrale	8
6. Piazza delle Erbe	8 --

Classe di pericolosità	Range
Alta	 10 - 12
Media	 6 - 9
Bassa	 3 - 5

a fianco, da sinistra, **Fig. 26**

Pericolosità degli spazi analizzati: elenco in ordine di priorità decrescente, definito in funzione della somma dei pesi dei tre fattori considerati e dei decrementi/incrementi legati a specifiche caratteristiche urbane e a ulteriori considerazioni; i valori risultanti maggiori sono i peggiori per la stagione estiva.

7.8.4.2. La valutazione del rischio "isola di calore"

Per individuare le aree che presentano il rischio di incorrere negli effetti negativi dell'isola di calore, si pongono in relazione pericolosità e vulnerabilità. In questo caso, in cui la pericolosità è stata valutata e articolata in tre classi: Alta, Media e Bassa, è opportuno utilizzare la valutazione della vulnerabilità espressa anch'essa in tre classi, come già accennato (cfr. Par. 7.6.6.2); in tale valutazione i vari pesi, da 1 a 5 con i loro incrementi, sono raggruppati in tre intervalli di valori corrispondenti a tre classi di vulnerabilità: Alta (A), Media (M) e Bassa (B); siccome per l'esemplificazione del metodo si è deciso di fare l'approfondimento tematico solo sugli spazi urbani che erano risultati maggiormente frequentati e quindi più vulnerabili, la classe di vulnerabilità da considerare risulta essere una sola, quella alta, corrispondente all'intervallo che comprende i pesi 4 e 5, con i loro incrementi (Fig. 29).

Ovviamente ove si fosse utilizzata la valutazione alternativa con cinque intervalli di valore e rispettivi pesi, sia per la pericolosità che per la vulnerabilità, anche i gradi di rischio si sarebbero potuti raggruppare in cinque intervalli corrispondenti a cinque classi di rischio: Molto Alto - Alto - Medio - Basso - Molto Basso.

In una tabella sono stati elencati gli spazi urbani considerati, caratterizzati dalle loro denominazioni, e su due colonne, a seguire, sono state inserite le valutazioni, sia con i pesi (valori numerici) sia con le classi (lettere iniziali), che ne definiscono il grado di pericolosità e vulnerabilità; in una terza colonna è riportato il grado di

Fig. 27

Classi di pericolosità in relazione al possibile verificarsi del fenomeno dell'isola di calore urbana: definizione in funzione di tre range che misurano l'apporto sinergico dei tre fattori analizzati (soleggiamento, ventilazione e materiali, naturali e artificiali).

Fig. 28

Classificazione degli spazi urbani analizzati a Cave in funzione della pericolosità: gli spazi sono elencati e classificati in ordine di priorità decrescente; nello stilare l'elenco si è tenuto conto che gli spazi con classe di pericolosità media, pur appartenendo alla stessa classe, presentano livelli di pericolosità leggermente diversa. Per la lettura immediata dell'ubicazione e dell'estensione degli spazi, i simboli colorati, relativi ai diversi livelli di pericolosità, sono stati riportati sulla planimetria.



Legenda			
Spazi urbani	Classi di pericolosità		
	Alta	Media	Bassa
1. Piazza Unità d'Italia	●		
2. Piazza del Plebiscito		●	
3. Piazza G. Garibaldi - Via Scalonì Bielli		●	
4. Piazza Garibaldi - Via della Pace		●	
5. Piazza G. Garibaldi - zona centrale		●	
6. Piazza delle Erbe		●	

rischio, espresso dalla moltiplicazione dei rispettivi pesi ($R=P \times V$), e nell'ultima colonna è indicato l'ordine di priorità degli spazi secondo il grado di rischio (Fig. 30).

Anche il rischio è articolato in tre intervalli di valori, desunti dai massimi e minimi valori conseguibili nelle varie combinazioni dei pesi dei due fattori, ognuno contrassegnato dagli usuali tre colori che fanno riferimento a quelli utilizzati nelle lanterne semaforiche: il primo, con valori da 45 a 60, compresi, definisce il rischio come Alto, rosso; il secondo, con valori da 25 a 45, esclusi, definisce il rischio come Medio, arancione; il terzo, con

Classi di vulnerabilità e peso	Range valori dei livelli di frequentazione
Alta = 3	da 4 a 5 ++
Media = 2	da 3 a 3 ++
Bassa = 1	da 1 a 2

Fig. 29
Valutazione sintetica della vulnerabilità, espressa utilizzando tre classi, corrispondenti a tre intervalli di valori correlati ai livelli di frequentazione teorica, e tre pesi.

Spazi urbani	Pesi e classi		Grado di rischio	Priorità
	Pericolosità	Vulnerabilità		
1. Piazzale Unità d'Italia	10 + (A)	4 ++ (A)	40 +++	3°
2. Piazza del Plebiscito	9 - (M)	5 ++ (A)	45 +	1°
3. Piazza Garibaldi - Via Scalonì Bielli	9 - (M)	5 + (A)	45	2°
4. Piazza Garibaldi - Via della Pace	8 (M)	4 + (A)	32 +	4°
5. Piazza Garibaldi - zona centrale	8 (M)	4 + (A)	32 +	5°
6. Piazza delle Erbe	8 - - (M)	4 ++ (A)	32	6°

Fig. 30
Valutazione del grado di rischio degli spazi urbani analizzati a Cave, calcolato come prodotto dei pesi attribuiti ai diversi livelli di pericolosità e vulnerabilità, e tenendo conto anche degli specifici incrementi e decrementi; agli spazi viene attribuito un numero d'ordine secondo il grado di rischio risultante, indicando così possibili priorità di intervento.

Classi di rischio	Range
Alto 	$45 \leq x \leq 60$
Medio 	$25 \leq x \leq 45$
Basso 	$12 \leq x \leq 25$

Fig. 31
Valutazione sintetica del rischio in relazione al possibile verificarsi del fenomeno dell'isola di calore, espressa utilizzando tre classi, corrispondenti a tre intervalli di valori correlati ai gradi di rischio.

valori da 12 a 25, compresi, definisce il rischio come Basso, verde. Se il grado di rischio risulta avere un valore al limite dell'intervallo, in presenza di incrementi, tale valore può essere inserito, in via prudenziale, nell'intervallo più alto (Fig. 31).

Gli spazi urbani analizzati a Cave sono stati classificati in base all'applicazione di questi intervalli e sono elencati in ordine di priorità decrescente, tenendo sempre in considerazione anche il valore numerico del grado di rischio, con i suoi decrementi e incrementi, al fine di dare un'indicazione precisa della priorità, anche all'interno della stessa classe. La classificazione è riportata sulla planimetria utilizzando i colori assegnati alle tre classi di rischio; ciò permette una lettura immediata dell'ubicazione degli spazi urbani su cui è necessario intervenire, della loro estensione approssimativa e della loro maggiore o minore contiguità (Fig. 32).

Come già scritto all'inizio della trattazione di questo approfondimento tematico sulle isole di calore urbane, in un processo reale di prevenzione e mitigazione del rischio, bisognerebbe svolgere lo studio su tutti i percorsi che ricadono all'interno delle aree di attenzione classificate come prioritarie (cfr. Par. 5.9), quindi, probabilmente, si analizzerebbero percorsi con diversi livelli di vulnerabilità, anche medi e bassi, e di conseguenza, come risultato, si potrebbero avere anche gradi di rischio bassi.

I tratti di percorso che presentano una classe di rischio alto sono due: Piazza del Plebiscito e Piazza Garibaldi - Via Scalonì Bielli; gli altri tratti di percorso analizzati risultano tutti ricadere nella classe di rischio medio; secondo l'ordine di priorità decrescente, in questo gruppo, Piazzale Unità d'Italia risulta essere il primo su cui sarebbe necessario attuare interventi di mitigazione e prevenzione, avendo un grado di rischio di poco inferiore a quello degli spazi inseriti nella classe di rischio alto; gli altri tratti di Piazza G. Garibaldi e Piazza delle Erbe, come grado di rischio, si distaccano da quello della piazza sopra citata, pur trovandosi nella stessa classe, quindi, in caso di fondi limitati, sembrerebbe più opportuno intervenire, in primis, su Piazza del Plebiscito, Piazza Garibaldi - Via Scalonì Bielli e Piazzale Unità d'Italia.

Fig. 32

Classificazione degli spazi urbani analizzati a Cave in funzione del rischio legato all'isola di calore: gli spazi sono elencati e classificati in ordine di priorità decrescente; nello stilare l'elenco si è tenuto conto dei livelli di rischio leggermente diversi degli spazi appartenenti alla stessa classe. Per la lettura immediata dell'ubicazione e dell'estensione degli spazi, i simboli colorati, relativi ai diversi gradi di rischio, sono stati riportati sulla planimetria.



Legenda			
Spazi urbani	Classi di rischio		
	Alto	Medio	Basso
1. Piazza del Plebiscito	●		
2. Piazza G. Garibaldi - Via Scaloni Bielli	●		
3. Piazza Unità d'Italia		●	
4. Piazza Garibaldi - zona centrale		●	
5. Piazza G. Garibaldi - Via della Pace		●	
6. Piazza delle Erbe		●	

Questo approfondimento, grazie alle valutazioni mirate in specifici punti, può suffragare alcune valutazioni del rischio di ordine più generale che erano state fatte nello studio sulle ondate di calore. Il grado di rischio di Piazza del Plebiscito, nel tratto situato in prossimità delle attività commerciali, tra cui il bar, e della fermata dell'autobus, e Piazza Garibaldi, nel tratto su cui sboccano Via Scaloni Bielli e Via indipendenza, davanti al Comune e alla Parrocchia di Santo Stefano, nella classificazione fatta per le ondate di calore, a cinque valori, ricadevano nella classe di rischio molto alto; vale la pena ricordare che tale valutazione era legata soprattutto all'alto livello di vulnerabilità, visto che l'indice di disagio aveva un valore analogo per tutta Cave, data la presenza di una sola

stazione meteorologica. L'approfondimento conferma tale valutazione, in quanto l'analisi, fatta in punti significativi ubicati negli stessi tratti di percorso, porta a dire che il grado di rischio legato alla possibilità che si verifichi il fenomeno dell'isola di calore ricade nella classe di rischio alto, nella classificazione a tre valori.

Per i casi di Piazzale Unità d'Italia, Piazza G. Garibaldi, zona centrale e zona nord, e Piazza delle Erbe, la situazione è un po' diversa; nella valutazione fatta per le ondate di calore, essi ricadevano tutti nella classe di rischio alta, nella classificazione a cinque valori, essendo tutti spazi molto frequentati, mentre nella classificazione fatta per l'approfondimento ricadono nella classe di rischio medio. Per quanto riguarda Piazzale Unità d'Italia che, tra i quattro casi con valore medio, è il primo nell'ordine di priorità, si potrebbe dire che la valutazione possa ritenersi compatibile; negli altri casi invece sembrerebbe che, non essendoci un rischio alto che si verifichi il fenomeno dell'isola di calore, si potrebbe dire che il rischio delle ondate di calore da solo giustifichi una minor necessità di interventi di mitigazione, ove i fondi richiedessero uno scaglionamento di interventi.

7.8.5. Le azioni di coinvolgimento delle scuole sul tema dei rischi

Anna Aluffi Pentini

Nell'ambito del progetto di ricerca e delle questioni relative alla sensibilizzazione della popolazione alla mitigazione e prevenzione dei rischi ambientali, ci si è posti l'obiettivo di implementare azioni sostenibili a seguito di un'attenta lettura del contesto – storico e sociale – di Cave.

La popolazione di Cave³¹ è stata coinvolta, in particolare, con una proposta di attività alle scuole. Ciò non è stato semplice, data la pandemia in atto. Anche per via del clima, di timori e ripiegamenti su stessi, seguito alle diverse chiusure, si è pensato di promuovere un atteggiamento positivo e di partire da una descrizione del territorio, che portasse a lavorare sulle risorse di Cave. Si è scelto, pertanto, di approfondire solo in un secondo momento, in modo più diretto, il tema della prevenzione e della mitigazione dei rischi, che poteva apparire più minaccioso.

Data la situazione pandemica in atto, un coinvolgimento più ampio della popolazione presentava alcune difficoltà. L'entusiasmo delle scuole, è stato quindi estremamente importante, e la loro partecipazione alle proposte che per loro erano state pensate, ha fornito spunti importanti per la ricerca. Le fasi di informazione rispetto al progetto di ricerca, e quella di ascolto, nelle scuole, si è concentrata sulla rilevazione degli aspetti positivi del territorio: tale approccio sarebbe stato tra l'altro, secondo i canoni della ricerca intervento (Aluffi Pentini, 2001), funzionale a suscitare interesse, nella popolazione, per una successiva restituzione del report di ricerca, alla popolazione stessa. Si intendeva così preparare, nell'opinione pubblica, il terreno alla successiva sensibilizzazione in merito ai pericoli da scongiurare e al tema della mitigazione dei rischi ambientali.

Si è utilizzato, dunque, un linguaggio diversificato per comunicare il concetto di rischio. Le attività proposte sono state progettate con l'intento di indagare la percezione degli interessati, in tema qualità della vita e sicurezza, e favorire la consapevolezza circa i possibili impatti dei diversi fattori di rischio su ambiente e salute. Attraverso un approccio top-down è stato inizialmente presentato il progetto, per poi adottare un approccio bottom-up di tipo partecipativo, finalizzato alla mobilitazione di memorie, idee, proposte e iniziative, e inviando le classi a lavorare sulle risorse del territorio. Va detto che, date le difficoltà legate alla pandemia, i rapporti con le classi dei più piccoli sono stati mediati dalle insegnanti, mentre con i più grandi, l'organizzazione a distanza dei focus group, ha riproposto le difficoltà della didattica on line: si è visto chiaramente che per i ragazzi un'ennesima iniziativa on line rappresentava un peso.

Sia per le classi dei più piccoli, sia per quelle delle scuole secondarie, sono stati fatti degli incontri con le insegnanti, tutte molto disponibili e collaborative, per la presentazione e la discussione delle tematiche da presentare agli allievi e la verifica della fattibilità del progetto. È stato molto bene esplicitato che il tema del rischio ambientale sarebbe stato affrontato senza creare angoscia nei bambini e nei ragazzi, ma con una modalità di coinvolgimento nella ricognizione del patrimonio del territorio, e del significato della appartenenza dei ragazzi ad esso. Sarebbero state messe in evidenza la positività della consapevolezza ambientale e la responsabilità sociale che ne deriva. A giudicare dai lavori che abbiamo ricevuto, ci pare di poter dire che il messaggio sia passato in modo corretto e che le classi abbiano lavorato davvero con spirito di gruppo, impegno ed entusiasmo.

Molto positivo, per non dire decisivo, è stato il supporto dell'assessore alla cultura³² che si è messa in gioco in prima persona, implementando, con la sua presenza nelle scuole, e in un istituto comprensivo in special modo, i contatti presi precedentemente dal gruppo di ricerca con le insegnanti.

³¹ A Cave sono stati coinvolti in particolar modo i docenti e discenti degli istituti comprensivi e nello specifico hanno dato un notevole contributo le classi dell'Istituto Comprensivo Via Matteotti n. 11.

³² Silvia Baroni, assessora alla Cultura e Pubblica Istruzione, del Comune di Cave.



Fig. 1
Disegni eseguiti dai bambini e dalle bambine della IV C.

Si è quindi proceduto a una diversificazione delle proposte di attività, anche modulando un linguaggio a complessità crescente, a seconda dell'ordine scolastico (Scuola dell'infanzia, Scuola primaria o Scuola media).

Ai bambini della scuola dell'infanzia è stato chiesto di produrre un disegno sui temi: «Mi piace vivere a Cave perché...»; «A Cave i bambini come me devono stare attenti a...». Ai ragazzi della scuola primaria (terza, quarta, quinta classe), invece, è stato chiesto di scrivere delle brevi riflessioni su: «Un mio coetaneo arriva a Cave e io gli spiego cosa c'è di bello da vedere e da fare a Cave»; «Un mio coetaneo arriva a Cave e io gli spiego quali pericoli possono esserci a Cave». Gli allievi delle medie e del primo anno di superiori hanno invece intervistato i nonni chiedendo loro di parlare: delle ricchezze naturali e artistiche del paese e dintorni; delle iniziative culturali, festività e tradizioni di Cave; delle problematiche più urgenti che il Comune dovrebbe affrontare; degli eventuali pericoli sociali e ambientali che avvertono nel territorio e cosa pensano si possa fare per prevenirli. Infine, i ragazzi degli ultimi quattro anni delle superiori sono stati invitati a scrivere un breve saggio, oppure a girare un video, su due temi: il primo concernente la ricchezza del territorio di Cave tra sport, cultura, divertimento e arte, o le bellezze naturali del territorio di Cave; il secondo riguardante le problematiche sociali e ambientali della vita a Cave e le raccomandazioni dei genitori sui pericoli del territorio.

L'idea iniziale era quella di aprire una comunicazione con le scuole su temi "positivi", per poi affrontare il tema centrale della ricerca ai fini della stesura del protocollo. Il materiale inviato dalle scuole è stato molto ricco e ha mostrato a) che è stata messa in campo creatività e attivata sinergia tra bambini e insegnanti b) che c'è stato coinvolgimento delle famiglie – genitori e nonni. Purtroppo, però, gli interventi previsti, nel merito dell'illustrazione dei fenomeni naturali e dei rischi ambientali, non hanno poi avuto luogo per il ritorno della pandemia.

I bambini, in ogni caso, si sono dati da fare e hanno cercato informazioni e prodotto testi scritti e disegni sulle case liberty di Cave e sui principali monumenti di Cave, mostrando un legame profondo con il territorio e un senso di appartenenza, legato anche alla consapevolezza della bellezza del luogo in cui abitano (Fig. 1). I bambini si sono davvero sforzati di introdurre un ipotetico amico nel loro territorio e gli insegnanti hanno suddiviso le consegne, in modo che, dal materiale, si potesse acquisire un quadro piuttosto completo delle risorse di Cave. Il tema dei collegamenti con Roma, ad esempio, ha dato luogo ad una ricognizione di percorsi, sia in termini storici, sia paesaggistici, sia architettonici e tecnici. Sono stati menzionati e disegnati le strade, il ponte, la ferrovia: «a casa di mio nonno, ho visto delle foto in bianco e nero della piazza del Plebiscito in cui c'era il binario della ferrovia, da cui si accede alla parte più vecchia e più bella di Cave (...) anche se adesso la stazione non c'è più si possono ritrovare parti di binario che la ricordano» (2 elem.). Sono stati presentati con grande creatività monumenti case e chiese: le ville Liberty hanno impegnato molti ragazzi in riproduzioni fotografiche e pittoriche molto accurate e riuscite. Della Fonte di Santo Stefano è stato scritto: «un'acqua terapeutica dove si è curato anche Michelangelo» (3 elem): sul disegno con la fonte un bambino ha scritto «lo scorrere dell'acqua mi rilassa» o anche, a commento del disegno di Villa Clementi, si dice «nella parte più lontana si nota una grandissima montagna verde piena di vegetazione: cioè Rocca di Cave (..) qui provo sempre serenità e libertà perché posso giocare con i miei amici senza pericolo» (3 elem). Il tema del traffico, molto sentito, soprattutto in termini di pericolo delle macchine che vanno veloci, ha fatto emergere il desiderio di piste ciclabili, desiderio al quale sarebbe facile agganciare, sviluppandola, la riflessione sulla qualità dell'aria. Alcuni bambini hanno fatto riferimento anche ai timori dei genitori per lo spaccio di sostanze stupefacenti.

Si è dimostrata funzionale agli obiettivi della ricerca, anche la richiesta, fatta ai bambini, di presentare la loro realtà e punti di vista ad un amico, o ospite, che viene a vivere Cave, perché in questo tipo di lavoro i bambini hanno dimostrato di essere capaci di apertura ad altri contesti e altre esperienze di vita, ma anche perché a partire da questo tema si potrebbe, in futuro, introdurre tra gli allievi il tema dell'interdipendenza delle popolazioni e dei territori. Agli ospiti, reali o immaginari, (in un caso specifico si è fatto riferimento a ospiti arrivati addirittura dalla Norvegia) si è raccontato dell'infiolata, della sagra delle castagne, tutte manifestazioni percepite come una risorsa importante del territorio; si è raccontato delle diverse chiese, al Museo Lorenzo Ferri, ma anche delle montagne e del verde "che ci fa vivere bene" e dei cambiamenti meteorologici repentini che si verificano a Cave. I pericoli individuati spaziano dai cinghiali nel parco, al fondo stradale dissestato, all'eccesso di velocità delle macchine, ai burroni quando si fanno le gite nei dintorni, ma qualcuno ha menzionato anche il "rio un piccolo fiume prosciugato, circondato dalla natura" in relazione al quale un nonno avverte di "stare attenti alla palude". È stata avviata con le scuole una comunicazione efficace che ha le potenzialità per un frame di restituzione del contesto socio-ambientale-culturale da parte dei diretti interessati. I ragazzi grandi hanno prodotto un video molto bello sulle risorse di Cave. Con loro sono state utilizzate anche tecniche qualitative (focus group). Durante gli incontri è emerso il persistere di stereotipi di genere, legati alla costruzione della propria identità professionale, e al modo di percepire il territorio e i suoi pericoli. Il tema richiederebbe un approfondimento.

Con riferimento, invece, allo scenario pandemico, l'approccio adottato ha permesso di evidenziare che i giovani hanno sofferto in questo periodo per la mancata partecipazione ad attività ricreativo-sociali e che questa sofferenza ha contribuito al desiderio di modificare l'immaginario collettivo e di produrre un cambiamento culturale di ampio respiro. È stato proprio al termine del confronto con i ragazzi grandi, che è stato chiesto ai discenti - con il supporto dei docenti e dei familiari - di impegnarsi in un progetto di produzione (multimediale o scritta) avente come tema il vissuto cittadino, così come percepito soggettivamente, anche attraverso i racconti di parenti e/o amici.

Sembra di poter affermare alla luce di questa esperienza, che i ragazzi, ognuno a seconda dell'età, se messi nella condizione di partecipare al risk assessment, possano contribuire significativamente, con informazioni locali derivanti dalla loro esperienza e memoria, o da quella dei più anziani, alla diffusione di una cultura della prevenzione.

Il materiale raccolto si è rivelato prezioso ai fini della ricerca, giacché ne è emerso un apprezzamento generale e condiviso per le ricchezze naturali e artistiche della città di Cave, di cui vengono celebrati il legame con la storia antica, la posizione geografica e le antiche tradizioni. Altrettanto condivisa e diffusa risulta la percezione di una scarsa valorizzazione delle risorse locali.

Evidente, inoltre, il tema della scarsa manutenzione delle risorse, che richiama quello del rischio ambientale. Opinione comune è anche che l'assenza di luoghi di aggregazione sociale costituisca un fattore che alimenta i fenomeni della criminalità e del vandalismo nelle giovani generazioni. Si insiste pure sulla necessità di maggiori controlli da parte degli organi di competenza. Sebbene non emerga, invece, il problema dell'inquinamento, attribuito alle zone limitrofe, e ad altri paesi, ad emergere è una certa sensibilità nei confronti del tema della sostenibilità ambientale. La cura del territorio si configura come la criticità più urgente da affrontare, unitamente alla creazione di spazi e attività che rappresentino un'alternativa valida al dilagare dei fenomeni di dipendenza da sostanze.

In conclusione, ci pare di poter dire che il lavoro preparatorio delle scuole ha dato ottimi risultati.

È forse un po' triste pensare di aver deluso delle aspettative che erano state suscitate in termini di interventi a scuola. Ci si augura che in futuro si potranno riprendere le linee di azione ipotizzate e che intanto i materiali caricati sul sito del progetto possano rafforzare l'interesse della popolazione e suscitare nuove curiosità. In particolare, sarebbe utile potenziare incontri intergenerazionali tra le scuole di grado diverso, e tra le famiglie, per costruire uno scrigno ambientale, storico, artistico, naturale e sociale, che sia fruibile da tutti. L'istituto per il turismo potrebbe rappresentare un polo creativo per la valorizzazione e la protezione del territorio. Ci pare insomma di poter affermare che un prossimo lavoro specifico, sulla creazione di un protocollo per la conservazione del patrimonio artistico e naturale, e per la prevenzione dei rischi ambientali, troverebbe a Cave, e nello specifico nelle scuole, un terreno fertile.

7.8.6. Comunicare la ricerca attraverso il sito web OPERA

Francesca Funicello

L'obiettivo chiave di qualunque progetto scientifico è la capacità di comunicare in modo efficace le tematiche affrontate. È un compito complesso e delicato ma di fondamentale importanza per ridurre i tempi di diffusione dei risultati ottenuti e la distanza tra ricerca scientifica e fruitori, tecnici e non.

Presentare i risultati di un progetto richiede non solo dei contenuti scientifici solidi, ma anche una capacità espositiva che sia in grado di stimolare l'interesse e la curiosità del pubblico.

È per questo che tra gli obiettivi di OPERA si è deciso strutturare un sito web - *opera.uniroma3.it* – che rappresenta un hub di raccolta di tutte le tematiche affrontate nell'ambito del progetto e dei relativi risultati.

Il sito ha una struttura intuitiva, accessibile e facilmente navigabile. In esso sono contenute tutte le informazioni riguardanti il progetto: gli obiettivi, i risultati raggiunti nei differenti WPs, i partner di progetto, le pubblicazioni, le presentazioni ai convegni e le informazioni sulle iniziative organizzate sul territorio. I contenuti sono presentati in modo chiaro, coinvolgente e accessibile, evitando l'uso di linguaggio eccessivamente tecnico. Il sito ha un design responsivo che permette l'accessibilità da diversi dispositivi (i.e., computer desktop, tablet e smartphone).

È previsto un regolare aggiornamento del sito al fine di massimizzarne l'impatto e, per tale fine, sarebbe utile un futuro coinvolgimento anche dell'Amministrazione del Comune di Cave (Roma).

In questo modo, il sito *opera.uniroma3.it* ha l'ambizione di diventare un raccoglitore di contenuti finalizzati alla conoscenza di strumenti per la prevenzione e mitigazione dei rischi ambientali che interessano il Comune di Cave (Roma) ma anche un esempio di portale che i comuni italiani possono sviluppare per favorire l'acquisizione di consapevolezza della cittadinanza rispetto ai temi della conoscenza e della tutela del territorio, sostenendo il raggiungimento dei 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'Agenda 2030.



CREDITS IMMAGINI

Laddove non diversamente indicato, le immagini sono state elaborate dagli autori dei testi.

Relativamente alle immagini del paragrafo 3.8.1:

La Fig. 1 è una rielaborazione degli autori dell'immagine da: HIGHEST TEMPERATURE EVER RECORDED (°C) as of July 2018, More maps at Jacubmarian.com.

Relativamente alle immagini del paragrafo 3.8.2:

La Fig. 2 è una rielaborazione degli autori dell'immagine da Fig. 6.11 Thom's discomfort index table, pag.147 in: Zauli Sajani, S. et al. (2016). *UHI in the Metropolitan Cluster of Bologna-Modena: Mitigation and Adaptation Strategies*. In: Musco, F. (eds) *Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10425-6_6

Relativamente alle immagini del paragrafo 6.3:

Le Figg. 1-8 si riferiscono al lavoro svolto nell'ambito del Laboratorio di Progettazione del Master internazionale di II livello in *Restauro e culture del patrimonio* dell'Università Roma Tre, a.a. 2017-18 e rielaborato in occasione della redazione del Manuale del recupero del Comune di Arquata pubblicato in M. Zampilli, G. Brunori, *Ricostruire Arquata*, Roma TrE-Press 2021, pag. 311 – 318.

Rielaborazione di A. Cretarola

Le Figg. 9-11 si riferiscono al lavoro svolto nell'ambito della Convenzione tra i Comune di Arquata del Tronto e il Dipartimento di Architettura per “Studi, ricerche e rilievi per la redazione dei piani e dei programmi di ricostruzione e recupero dei centri storici del Comune di Arquata del Tronto”, pubblicato in M. Zampilli, G. Brunori, *Ricostruire Arquata*, Roma TrE-Press 2021, pagg. 326, 328, 330.

Elaborazione di G. Brunori, E. Pagano.

Le Fig. 12-13 si riferiscono al lavoro svolto nel Master internazionale di II livello in *Restauro e culture del patrimonio* dell'Università Roma Tre, Laboratorio di Progettazione, a.a. 2016-17. Progetti di restauro del borgo di Retrosi (Amatrice). I Gruppi di lavoro sono, rispettivamente: Anna Scudero, Luisa Grasso, Chiara Zingale per la Fig. 12 e Serena Amatulli, Ilaria Rinaldi, Eduardo Terrón per la Fig. 13.

Relativamente alle immagini del paragrafo 7.1:

Le immagini sono state elaborate da Elisabetta Tortora in occasione della tesi di laurea magistrale in Architettura-Restauro, discussa nell'a.a. 2019-2020, nel Dipartimento di Architettura dell'Università Roma Tre, dal titolo *Cave e il suo territorio. Strumenti per la conoscenza e la valorizzazione*, Relatori: Giovanna Spadafora, Michele Zampilli. Correlatore: Mauro Saccone.

Nello specifico:

Figg. 3a e b La schematizzazione dell'impianto urbano è, per entrambi i centri raffigurati, una rielaborazione grafica degli schemi presenti in D'Amato, T. Paris, 1976, pag.32, su planimetrie geomorfologiche. La vista panoramica di Genazzano è riportata in una cartolina della raccolta Camilloni, Pinci, 2011. La vista panoramica di Cave, del 1930, è riportata in una cartolina della raccolta Camilloni, Mancini, 2000.

Fig. 6 La figura è una rielaborazione della carta tratta da: A.P. Frutaz, *Le carte del Lazio*, vol. II, XXXII 1b, tavv. 161 e 162, Giovan Battista Cingolani. Topografia geometrica dell'Agro Romano.

Fig. 7 Le due immagini della figura sono rielaborazioni delle carte tratte da: (in alto), A.P. Frutaz, *Le carte del Lazio*, vol. II, XL c, tav. 199, 1755 Cristoforo Maire-Ruggero Giuseppe Boscovich, Patrimonio di S. Pietro, Sabina e Campagna di Roma; in basso, A.P. Frutaz, *Le carte del Lazio*, vol. II, XLVII 2, tav. 219, 1798-99 Olivieri, Dipartimento del Tevere, diviso nei suoi cantoni.

Relativamente alle immagini dei paragrafi 7.2, 7.3 e 7.3.1:

I disegni sono stati elaborati nell'ambito dei corsi integrati che si svolgono al primo anno della Laurea Magistrale in Restauro, del Dipartimento di Architettura di Roma Tre, ovvero il corso di *Strumenti per il progetto di restauro* (con i proff. M.Canciani per il modulo di *Rilievo*, C. Falcolini per il modulo di *Matematica, curve e superfici*, M. Saccone per il modulo di *GIS*), il *Laboratorio di restauro urbano* (con i proff. M. Zampilli per il modulo di *Restauro*, P. Ungari per il modulo di *Legislazione dei Beni Culturali* e A. Filpa per il modulo di *Urbanistica*), e il corso di *Scienze delle costruzioni* (prof. N. Rizzi), negli anni accademici 2017-2018 e 2019-2020.

Nello specifico:

Paragrafo 7.2

Figg. 2, 6 Daniela Ciardullo, Flaminia Pelagalli, Rocco Rottura

Fig. 3 Giulia Liperi, Chiara Middei, Pol Monjo Roca, Moana Montaldi, Giovanni Saja

Figg. 4, 5 Alessandra Ilardi, Pauline Marette, Michela Schettini

Fig. 7 Michela Ceracchi, Gianluca Rovere, Giulia Ticchioni, Flaminia Valchera

Figg. 8, 9 Daniela Ciardullo, Flaminia Pelagalli, Rocco Rottura

Fig. 10 (a sinistra) Michela Ceracchi, Gianluca Rovere, Giulia Ticchioni, Flaminia Valchera; (a destra) Shance Bagos Taylor, Adriano Bonanno, Lucia Chiarotti, Bassam Kaddoura, Giulia Lamolinara

Paragrafo 7.3:

Figg. 2- 4 Michela Ceracchi, Gianluca Rovere, Giulia Ticchioni, Flaminia Valchera.

Paragrafo 7.3.1:

Figg. 2,4 Shance Bagos Taylor, Adriano Bonanno, Lucia Chiarotti, Bassam Kaddoura, Giulia Lamolinara

Fig. 3 Michela Ceracchi, Gianluca Rovere, Giulia Ticchioni, Flaminia Valchera.

Relativamente alle immagini dei paragrafi 7.8.4.1:

La Fig.12 è una rielaborazione degli autori sulla base di dati da: windfinder.com, meteoblu.com, windinfo.eu e da <https://www.youmath.it/>

Bibliografia

AGUILAR MERINO J., CANCIANI M., ZAMPILLI M. (a cura di) (2012), *Il centro storico di Izalco El Salvador: Corso di restauro urbano, El centro histórico de Izalco El Salvador: Curso de restauración urbana*, Editorial Universitaria (UES), San Salvador.

AKKAR S., BOMMER J. (2010), *Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East*, in *Seismological Research Letters*, vol. 81, 2, pp.195–206.
<https://doi.org/10.1785/gssrl.81.2.195>

ALCANTARA-AYALA I. (2002), *Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries*, in *Geomorphology*, vol. 47, pp. 107–124.
[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00083-1)

ALESSANDRINI L., CAROSI A. (2019), *Piano di adattamento ai cambiamenti climatici*, Comune di Urbino, Programma LIFE SEC ADAPT LIFE 2014–2020 Climate Change Adaptation, C3.
http://www.lifeseadapt.eu/fileadmin/user_upload/ALLEGATI_LIFESECADAPT/EXCHANGE/C3_Adoption_of_Local_Climate_adaptation_strategy_and_plans_through_SEAP_integration/Adaptation_Strategies_and_Action_Plans/URBINO_Climate_Change_Adaptation_Plan.pdf

ALUFFI PENTINI A. (2001), *La ricerca azione. Motore di sinergia tra teoria e prassi*, Pitagora, Bologna.

ANGELINI L. (2022), *CNR: estate 2022 è stata la seconda più calda dopo quella del 2003*, Meteobook.
<https://meteobook.it/cnr-estate-2022-e-stata-la-seconda-piu-calda-dopo-quella-del-2003/>

ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) (2000), *Il sistema informativo territoriale per la valutazione del potenziale di esalazione di radon dal suolo*, Rapporto ANPA, serie Stato dell'Ambiente 9/2000.
<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/32/007/32007841.pdf>

APEL H., THIEKEN A., MERZ B., BLÖSCHL G. (2004), *Flood risk assessment and associated uncertainty*, in *Natural Hazards Earth System Science*, vol. 4, pp. 295–308.
<https://doi.org/10.5194/nhess-4-295-2004>

ARPA (2015), *Valutazione della mortalità estiva in relazione alle ondate di calore e del sistema previsionale Arpa per i capoluoghi di provincia della Regione Piemonte Estate 2015*, Strutture Complesse e Semplici dell'Arpa, Torino.
https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/tematismi/clima/rapporti-di-analisi/eventi_pdf/2015/Estate2015.pdf

ARPA LAZIO, ISPRA, (2013). *Il monitoraggio del gas radon nel Lazio*, Report / Agenti fisici_03.
https://www.isinucleare.it/sites/default/files/contenuto_redazione_isin/ispra_e_arpa_lazio_2013_-_il_monitoraggio_del_gas_radon_nel_lazio_report_agenti_fisici_03.pdf

BAGGIO C. et al. (2002), *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento del danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES)*. Edito dal Dipartimento della Protezione Civile, Roma.

BALDUCCI A. (2019), *È possibile fare prevenzione in Italia?*, in Francini M., Palermo A., Viapiana M.F., *Il piano di emergenza nell'uso e nella gestione del territorio*, FrancoAngeli, Milano, pp. 136–146.

- BARBA S., LIMONGIELLO M. (2020), *D-SITE, Drones - Systems of Information on Cultural Heritage. For a spatial and social investigation*, University Press, Pavia.
- BARCA F., CASAVOLA P., LUCATELLI S. (a cura di) (2014), *Strategia Nazionale per le aree interne: definizione, obiettivi, strumenti e governance*, Collana Materiali UVAL, Documenti, 31.
https://www.agenziacoesione.gov.it/wp-content/uploads/2020/07/MUVAL_31_Aree_interne.pdf
- BARNET I., PACHEROVÁ P., NEZNAL M., NEZNAL M. (2008), *Radon in geological environment - Czech experience*, in “Special Papers”, vol. 19, Czech Geological Survey, Praga.
- BATEMAN M., MCGAHEY C. (2001), *A Framework for Action: Child Diarrhea Prevention*.
<https://www.ircwash.org/sites/default/files/Bateman-2001-Framework.htm>
- BATHRELLOS G., SKILODIMOU H., CHOUSIANITIS K., YOUSSEF A., PRADHAN B. (2017), *Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map*, in *Science of The Total Environment*, vol. 575, pp. 119-134.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.025>
- BAZARRAGCHAA S. (2012). *Community participation in disaster risk mitigation: a comparative study of Mongolia and Japan. Mongolia*, Disaster Research Institute.
- BAZZURRO P., CORNELL C.A. (1999), *Disaggregation of Seismic Hazard*, *Bulletin of the Seismological Society of America*, in *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 89, pp. 501-520.
http://sismologia.ist.utl.pt/~sismologia.daemon/files/Bazurro_and_Cornell_Disaggregation_of_Seismic_Hazard.pdf
<https://doi.org/10.1785/BSSA0890020501>
- BERGAMI A., FORTE A., LAVORATO D., NUTI C. (2017), *Proposal of a Incremental Modal Pushover Analysis (IMPA)*, in *Earthquakes and Structures*, vol. 13, pp. 539-549.
<https://doi.org/10.12989/eas.2017.13.6.539>
- BERTOCCI S., BINI M. (2012), *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, Città studi edizioni, Novara.
- BISWAS R., BARUAH S. (2015), *Non-Linear Earthquake Site Response Analysis: a Case Study in Shillong, City*, in *International Journal of Earthquake Engineering and Hazard Mitigation*, vol. 3, 4.
<https://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=irehm&page=article&op=view&path%5B%5D=18176>
- BLANDON C.A., GRANT D.N., PRIESTLEY M.J.N. (2005), *Direct displacement-based seismic design*, *Geology, Engineering, NZSEE Annual Conference*.
<http://db.nzsee.org.nz/2005/Paper33.pdf>
- BORZI B., CROWLEY H., PINHO R. (2008a), *Simplified Pushover-Based Earthquake Loss Assessment (SP-BELA) Method for Masonry Buildings*, in *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 2, pp. 353-376.
<https://doi.org/10.1080/15583050701828178>
- BORZI B., PINHO R., CROWLEY H. (2008b), *Simplified pushover-based vulnerability analysis for large-scale assessment of RC buildings*, in *Engineering structures*, vol. 30, 3, pp. 804-820.
- BOURDON B., TURNER S., HENDERSON G.M., LUNDSTROM C.C. (2003), *Introduction to U-series geochemistry*, in *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, vol. 52, pp. 1-21.
<https://doi.org/10.2113/0520001>
- BOX, P. (1999), *GIS and cultural resource management: A manual for heritage managers*, UNESCO Bangkok, Bangkok.
- BROGIOLO G.P., CAGNANA A. (a cura di) (2012), *Archeologia dell'architettura metodi e interpretazioni*, All'Insegna del Giglio, Firenze.

- BRUNORI G. (2021), *Il costruito storico di Cave: tessuti urbani e tipi edilizi*, in Brunori G. e Magazzù M. (a cura di), *Studi e progetti per il centro di Cave: un laboratorio urbano. Catalogo della mostra dei lavori degli studenti della laurea magistrale in Restauro del Dipartimento di Architettura, UniRomaTre, a.a. 2017-18, 2019-20*, Comune di Cave, Cave.
- BRUNORI G., CRETAROLA A., ZAMPILLI M. (2016), *Tivoli: lettura di una città*, in U+D, vol. 5-6, pp. 32-49.
- BRUNORI G., MAGAZZÙ M. (a cura di) (2021), *Studi e progetti per il centro storico di Cave, un laboratorio urbano. Catalogo della mostra dei lavori degli studenti della laurea magistrale in Restauro del Dipartimento di Architettura, UniRomaTre, a.a. 2017-2018, 2019-20*, Comune di Cave, Cave.
- BRUSAPORCI S., CENTOFANTI, M. (2016), *Sistemi informativi integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio architettonico e urbano*, Gangemi Editore, Roma.
- BUCCHIGNANI E., MONTESARCHIO M., ZOLLO A., MERCOGLIANO P. (2014), *Regional climate simulations with CO-SMO-CLM over the Mediterranean area*, Conference: SISC Second Annual Conference, Venezia.
- BURNSIDE-LAWRY J., CARVALHO L. (2015), *Building local level engagement in disaster risk reduction: A Portuguese case study*, in *Disaster Prevention and Management*, vol. 24, 1, pp. 80-99.
<https://doi.org/10.1108/DPM-07-2014-0129>
- CALVI G.M. (1999), *A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings*, in *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 3, 3, pp. 411-438.
<https://doi.org/10.1080/13632469909350353>
- CALVI, G., PINHO R., MAGENES G., BOMMER J., RESTREPO-VÉLEZ L., CROWLEY H. (2006), *Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years*, in *Journal of Earthquake Technology*, vol. 43, 3, pp. 75-104.
Codice Scopus EID: [2-s2.0-33947660861](https://doi.org/10.1080/13632469909350353)
- CAMILLONI U., MANCINI A. (1994), *Cave com'era, fatti e immagini di tempi lontani*, Tipografia Bramante, Genazzano.
- CAMILLONI U., MANCINI A. (2000), *Saluti da Cave: sessant'anni di cartoline d'epoca (1900-1960)*, I.T.L. Palestrina, Palestrina.
- CAMILLONI U., PINCI A. (2001), *Le cartoline: Itinerari prenestini*, OIS, Roma.
- CAMPAGNA M., ANCHENZA M., IANNUZZI Y., COCCO C. (2014), *Geospatial Technologies for the Built Heritage Management: Experiences in Sardinia, Italy*, in *Euro-Mediterranean Conference*, Springer, Cham, pp. 598-605.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-13695-0_60
- CANCIANI M., D'ANGELICO M., MICHELINI M., (2021), *Il rilievo dello stato attuale e la ricostruzione tridimensionale dello stato pre-sisma*, in ZAMPILLI M., BRUNORI G. (a cura di), *Ricostruire Arquata. Studi, ricerche e rilievi per la redazione dei piani e dei programmi di ricostruzione e recupero dei centri storici del comune di Arquata del Tronto*, RomaTre Press, Roma, pp. 199-224.
- CANGI G. (2012), *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, II ediz., DEI, Roma.
- CANIGGIA G. (1963), *Lettura di una città: Como*, Centro studi di storia urbanistica, Roma.
- CANIGGIA G. (1976), *Strutture dello spazio antropico: studi e note*, Uniedit, Firenze.
- CANIGGIA G., MAFFEI G.L. (1979), *Composizione architettonica e tipologia edilizia: 1. Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia.
- CARPIGNANO A., GOLIA E., DI MAURO C., BOUCHON S., NORDVIK J-P. (2009), *A methodological approach for the definition of multi-risk maps at regional level: first application*, in "Journal of Risk Research", vol. 12, 3-4, pp. 513-534.
<https://doi.org/10.1080/13669870903050269>

CAPUTO A., PAOLACCI F., BURSI O. S., GIANNINI R. (2019), *Problems and perspectives in seismic quantitative risk analysis of chemical process plant*, in "Journal of Pressure Vessel Technology", vol. 141, 1.
<https://doi.org/10.1115/1.4040804>

CARAVAGGI L. (a cura di) (2020), *Progetto SISMI - DTC Lazio. Conoscenze e innovazioni per la ricostruzione e il miglioramento sismico dei centri storici del Lazio*, Quodlibet, Macerata.

CAROCCI C.F., TOCCI C. (a cura di) (2010), *Leggendo il libro delle antiche architetture*, Gangemi, Roma.

CASTELLUCCIO M. (2010), *Soil radon concentration survey in Caffarella Valley test site (Rome)*, Tesi si dottorato in Geodinamica, Università degli Studi Roma Tre, Roma.
<http://hdl.handle.net/2307/3856>

CASTELLUCCIO M., MORONI M., TUCCIMEI P., NEZNAI M., NEZNAI M. (2010), *Soil gas radon concentration and permeability at "Valle della Caffarella" test site (Roma, Italy)*, in Barnett I. et al., *Evaluation of gas sampling techniques and radon measurements using different approaches*, Proceedings of 10th International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Czech Geological Survey, Prague, pp. 61-71.

CASTELLUCCIO M., GIANNELLA G., LUCCHETTI C., MORONI M., TUCCIMEI P. (2012), *La Classificazione della pericolosità radon nella pianificazione territoriale finalizzata alla gestione del rischio*, in Italian Journal of Engineering Geology and Environment, vol. 2, 12, pp. 5-16.
<https://doi.org/10.4408/IJEGE.2012-02.O-01>

CERASOLI M., EUSEBIO A., SPADAFORA G. (2020), *La mitigazione dei rischi naturali attraverso la costruzione di un protocollo pilota per l'attivazione di interventi sostenibili*, in Francini M., Palermo A., Viapiana M.F., *Il piano di emergenza nell'uso e nella gestione del territorio*, FrancoAngeli, Milano, pp. 401-409.

CERASOLI M. (2020), *Dalla Pandemia il Germe della Rinascita? Un futuro tecnologico per i Centri Storici Minori nell'era Post (Post) Covid*, in Cerasoli M., Mattarocci G. (a cura di), *Un futuro per i centri storici. Scenari possibili nell'era post Covid*, Aracne, Roma, pp. 187-201.

CHEN C., AND A., HOLLAND A. (2016), *A Robust Pure Python Package for Automatic Identification of Seismic Phases*, in Seismological Research Letters, vol. 87, 6, pp. 1384-1396.
<https://doi.org/10.1785/0220160019>

CICALÒ E., MENCHETELLI V., VALENTINO M. (2021), *Linguaggi Grafici Mappe*, Publica, Alghero.

CICALÒ E. (2015), *LANDY. LANdscape Dynamics. Rilievo, rappresentazione, monitoraggio e comunicazione delle dinamiche del paesaggio e dei rischi ad esse connessi*, in Italia 45-45 Radici, Condizioni, Prospettive. Atti della XVIII Conferenza Nazionale SIU, Venezia, 11-13 giugno 2015, PAnum Publisher, Roma-Milano.
https://www.researchgate.net/publication/283486380_LANDY_LANdscape_DYnamics_Rilievo_rappresentazione_monitoraggio_e_comunicazione_delle_dinamiche_del_paesaggio_e_dei_rischi_ad_esse_connessi_1

CICALÒ E. (a cura di) (2015), *Disegnare le dinamiche del territorio*, FrancoAngeli, Milano.

COBURN A.W., BOWMAN G., RUFFLE S.J., FOULSER-PIGGOTT R., RALPH D., TUVESON M. (2014), *A taxonomy of threats for complex risk management*, Cambridge risk framework series, Centre for Risk Studies, University of Cambridge.

COLOMBI M., BORZI B., CROWLEY H. et al. (2008), *Deriving vulnerability curves using Italian earthquake damage data*, in Bulletin of Earthquake Engineering, vol. 6, pp. 485-504.
<https://doi.org/10.1007/s10518-008-9073-6>

COLUCCI, C. (2019), *Studio dello scambio radiativo in un canyon urbano: analisi delle riflessioni multiple come una delle cause del fenomeno UHI e di un possibile intervento di mitigazione*, Tesi di dottorato in Energia e Ambiente, XXXII Ciclo, Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica Università degli Studi di Roma La Sapienza, Roma.
<https://iris.uniroma1.it/retrieve/handle/11573/1362662/1360687/>

- CORBOZ A. (1958), *Il territorio come palinsesto*, Casabella 516.
- CORNELL, A. (1968), *Engineering Seismic Risk Analysis*, in Bulletin of the Seismological Society of America, vol. 58, 5, pp. 1583-1606.
<https://doi.org/10.1785/BSSA0580051583>
- CROWLEY T.J., ZIELINSKI G.A., VINTHER B., CASTELLANO E., *et al.* (2008), *Volcanism and the Little Ice Age*, PAGES Newsletter, vol. 16, pp. 22-23.
- D'AYALA D., ABDELGHANI M., VAMVATSIKOS D., PORTER K., ROSSETTO T., CROWLEY H., SILVA V. (2014), *Guidelines for Analytical Vulnerability Assessment of Low/Mid-rise Buildings*, Global Earthquake Model, GEM Foundation, Pavia.
- D'AMATO C., PARIS T. (a cura di) (1976), *L'area prenestina*, Istituto di ricerche economico-sociali Placido Martini, Roma.
- DE LUCA F., VERDERAME G.M., MANFREDI G. (2015), *Analytical versus observational fragilities: the case of Pettino (L'Aquila) damage data database*, in Bulletin Earthquake Engineering, vol. 13, pp. 1161-1181.
<https://doi.org/10.1007/s10518-014-9658-1>
- DEL GAUDIO C., RICCI P., VERDERAME G.M., MANFREDI G. (2015), *Development and urban-scale application of a simplified method for seismic fragility assessment of RC buildings*, in "Engineering Structures", vol. 91, 15, pp. 40-57.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.01.031>
- DEL MONACO G., MARGOTTINI C., SERAFINI S. (1999), *Multi-hazard risk assessment and zoning: an integrated approach for incorporating natural disaster reduction into sustainable development*, TIGRA (The Integrated Geological Risk Assessment) Project (ENV4-CT96-0262) summary report.
- DEL MONACO G., MARGOTTINI C., SPIZZICHINO D. (2007), *Armonia methodology for multi-risk assessment and the harmonisation of different natural risk maps*, in Armonia: applied multi-risk mapping of natural hazards for impact assessment, European Commission project, Deliverable 3.1.1, Contract 511208.
- DI NOLA P. (2007), *Cronache Cavensi, il tessuto urbano e sociale dell'antica Città di Cave*, Cave.
- DI SALVO G. GIUFFRÈ M., PELLEGRINO P., PIZZO B. (2013), *Prevenzione e ricostruzione per la riduzione del rischio sismico, in L'urbanistica che cambia. Rischi e valori*, Atti della XV Conferenza Nazionale SIU, Pescara.
- DOCCI M., MAESTRI D. (2020), *Manuale del rilevamento architettonico e urbano*, II edizione, Laterza Editore, Bari.
- DOGLIONI F. (1997), *Stratigrafia e restauro. Tra conoscenza e conservazione dell'architettura*, LINT, Trieste.
- DUBOIS G. (2005), *An overview of radon surveys in Europe*, Report EUR21892, EC, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA INC. (2018), *Heat wave*.
<https://www.britannica.com/science/heat-wave-meteorology>
- EL MORJANI Z. E. A., EBENER S., BOOS J., GHAFAR E., MUSANI A. (2007), *Modelling the spatial distribution of five natural hazards in the context of the WHO/EMRO Atlas of Disaster Risk as a step towards the reduction of the health impact related to disasters*, in International journal of health geographics, vol. 6, 8.
<https://doi.org/10.1186/1476-072X-6-8>
- EUROPEAN COMMISSION, 2000, *Temrap: the European multi-hazard risk assessment project*. DG XII, Environment and Climate Programme, contract ENV4-CT97-0589.
<https://cordis.europa.eu/project/id/ENV4970589/de>
- EUROPEAN UNION'S HORIZON (2020), *EnhANCing emergencY management and response to extreme WeatHER and climate Events*, (ANYWHERE Project), grant agreement No 700099.
<https://cordis.europa.eu/project/id/700099>

EUROSTAT (2021), *Aging Europe – 2021 Interactive edition*, in *Population and social conditions*, Collection: Interactive Publications.

<https://doi.org/10.2785/219199>

EUROSTAT (2021), *More than a fifth of the EU population are aged 65 or over*, Products Eurostat News.

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210316-1>

FAZZIO F., OLIVIERI M., PARROTTO R., PIZZO B. (2010), *Linee Guida per la definizione della Struttura Urbana Minima nei PRG*, Regione Umbria, DATSU - Sapienza Università di Roma.

FELL R., COROMINAS J., BONNARD C., CASCINI L., LEROI E., SAVAGE W.Z. (2008), *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*, in *Engineering Geology*, vol. 102, pp. 85–98.

<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>

FEMA (2001), *HAZUS – MH 2.1. Advanced Engineering Build Module. Technical and User's Manual*, Earthquake Loss Estimation Methodology.

FERA, G. (2019), *Dalla casa alla città temporanea: il ruolo dello spazio collettivo nella fase di emergenza*, in Francini M., Palermo A., Viapiana M. F. (a cura di), *Il piano di emergenza nell'uso e nella gestione del territorio*, FrancoAngeli, Milano, pp. 97–112.

FERRARI G.U. (a cura di) (1923), *L'architettura rusticana nell'arte italiana – dalle capanne alla casa medioevale*, Hoepli, Milano.

FOSCHI E. (2012), *1557 Pace di Cave tra pontifici imperiali e francesi firmata il 7 settembre “in loci Castris Cavarum”, cronaca di una guerra volontaria e di una pace forzata e sofferta*, Chiandetti, Reana del Rojale.

FOSCHI U. (2016), *Il treno per Cave, Storie delle ferrovie vicinali*, Cave.

FRANZINI E. (2001), *Fenomenologia dell'invisibile*, Raffaello Cortina Editore, Milano.

FRUTAZ A.P. (1972), *Le carte del Lazio*, Istituto di Studi Romani, vol. 2.

FULLERTON C.S., URSANO R.J., NORWOOD A.E., HOLLOWAY H. (2003), *Trauma, terrorism, and disaster*, in URSANO R.J., FULLERTON C.S., NORWOOD A.E. et al., *Terrorism and disaster: Individual and community mental health interventions*, Cambridge University Press, pp. 1–20.

GALDERISI, A. (2019), *Città, complessità e rischi. Ridefinire approcci e competenze per una più efficace comprensione e gestione dei rischi nelle aree urbane*, in *Urbanistica*, vol. 160, pp. 65–71.

GALLINA V., TORRESAN S., CRITTO A., SPEROTTO A., GLADE T., MARCOMINI A. (2016), *A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment*, in *Journal of Environmental Management*, vol. 168, pp. 123–132.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.011>

GARCIA-ARISTIZABAL A., CACIAGLI M., SELVA J. (2016), *Considering uncertainties in the determination of earthquake source parameters from seismic spectra*, in *Geophysical Journal International*, vol. 207, 2, pp. 691–701.

<https://doi.org/10.1093/gji/ggw303>

GARCIA-ARISTIZABAL A., GASPARINI P., UHIGNA G. (2015), *Multi-risk assessment as a tool for decision-making*; in PAULEIT S. et al., *Urban vulnerability and climate change in Africa*, in *Future City*, vol. 4, Springer, Cham., pp. 229–258.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-03982-4_7

GARCIA-ARISTIZABAL A., POLESE M., ZUCCARO G., ALMEIDA M., AUBRECHT C. (2015), *Improving emergency preparedness with simulation of cascading events scenarios*, in Palen et al. (a cura di), *Proceedings of the ISCRAM 2015 Conference, at 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, Kristiansand, Norway.

GARCIA-ARISTIZABAL A., GASPARINI P. (2014), *Seismic Risk Assessment, Cascading Effects*, in BEER M. et al., *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 1–20.

- GILL J. C., MALAMUD B.D. (2017), *Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework*, in *Earth-Science Reviews*, vol. 166, pp. 246–269.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.01.002>
- GIOVANETTI F. (a cura di) (1997), *Manuale del Recupero del Comune di Roma*. II ediz. ampliata (I ediz. 1989), DEI, Roma.
- GIOVANETTI F. (a cura di) (1996), *Manuale del Recupero del Centro Storico di Palermo*, Flaccovio Editore, Palermo 1996.
- GIOVANETTI F. (a cura di) (ed.1992, 1998), *Manuale del Recupero di Città di Castello*, DEI, Roma.
- GIOVANETTI F., ZAMPILLI M. (a cura di) (2018), *Dopo il terremoto... Come agire?*, RomaTrePress, Roma, pp. 242–266.
- GIOVANNONI G. (1939), *L'Architettura minore – Lazio e il suburbio di Roma*, Casa Editrice Colombo, Roma.
- GIUFFRÈ, A. (1995), *L'intervento strutturale quale atto conclusivo di un approccio multidisciplinare*, in Doglioni F., *Stratigrafia e restauro, Tra conoscenza e conservazione dell'architettura*, LINT, Trieste.
- GIUFFRÈ A. (a cura di) (1993), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Laterza, Roma.
- GLICKMAN T.S. (2000), *Glossary of Meteorology*, American Meteorological Society, Boston.
- GOEL R.K.F., CHOPRA A.K. (2004), *A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for unsymmetric-plan buildings*, in *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 33, 8, pp. 903–927.
<https://doi.org/10.1002/eqe.380>
- GRÜNTAL G., THIEKEN A. H., SCHWARZ J., RADTKE K. S., SMOLKA A., MERZ B. (2006), *Comparative Risk Assessments for the City of Cologne – Storms, Floods, Earthquakes*, in *Natural Hazards*, vol. 38, pp. 21–44.
<https://doi.org/10.1007/s11069-005-8598-0>
- GRÜNTAL G. (Ed.) (1998), *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)* European Seismological Commission, sub commission on Engineering Seismology, Working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, vol. 15, Lussemburgo.
- GIULIA L., MELETTI C. (2007), *Testing the b-value variability in Italy and its influence on Italian PSHA*, in *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, vol. 49, 1.
- GUZZO P.G. (2002), *Natura e storia nel territorio e nel paesaggio*, L'Erma di Bretschneider, Roma.
- ICCD (2013), *Criteri di descrizione delle tecniche murarie, per la predisposizione di moduli schedografici codificati*, Ricognizione bibliografica, Ministero dei Beni e delle Attività Culturali.
- IOANNILLI M. (2019), *Sicurezza territoriale, governo del territorio e protezione civile*, in Francini M., Palermo A, Viapiana M.F., *Il piano di emergenza nell'uso e nella gestione del territorio*, FrancoAngeli, Milano, pp. 36–48.
- IPCC (2014), *Climate Change 2014, Fifth Assessment Report (AR5)*
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IPPOLITO R., REMETTI R. (2019), *Radon entry models into buildings vs. environmental parameters, building shape and types of foundations*, in *Air pollution, Atti del XXXVII Convegno– WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 236, pp. 309–361.
<https://hdl.handle.net/11573/1324795>
- ISIDORI M.V., VACCARELLI A. (2013), *Pedagogia dell'emergenza, didattica nell'emergenza. I processi formativi nelle situazioni di criticità individuali e collettive*, Franco Angeli.
- ISPRA (2014), *Focus sulle città e la sfida dei cambiamenti climatici. Qualità dell'ambiente urbano*, X° Rapporto, Settore editoria Ispra, Roma.

ISTAT (2021), *Previsioni della popolazione residente e delle famiglie - Base 1/1/2020. Futuro della popolazione: meno residenti, più anziani, famiglie più piccole*, in Statistiche Report.
<https://www.istat.it/it/archivio/263995>

JALAYER, F., CORNELL, A., (2003), *A technical framework for probability-based demand and capacity factor (DCFD) seismic formats*. RMS Technical Report No.43 to the PEER Center, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA.

JIRÁNEK M. (2010) - *Radon protective and remedial measures in the Czech Republic*, Proceedings of 10th International Workshop On The Geological Aspects Of Radon Risk Mapping, Czech Geological Survey, Prague, September 22nd - 25th, pp. 142- 147.

JOHNER H.U., SURBECK H. (2001), *Soil gas measurements below foundation depth improve indoor radon prediction*, in The Science of the Total Environment, vol. 272, pp. 337-341.
[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00712-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00712-4)

KRAUS K. (2007), *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*, De Gruyter.
<https://doi.org/10.1515/9783110892871>

KAPPES M., KEILER M. & V., ELVERFELDT K. & G., THOMAS G. (2012), *Challenges of dealing with multi-hazard risk: a review*, in Natural Hazards, vol. 64, pp. 1925-1958.
<https://doi.org/10.1007/s11069-012-0294-2>

KOMENDANTOVA N. (2014), *Multi-hazard and multi-risk decision-support tools as a part of participatory risk governance: Feedback from civil protection stakeholders*, in International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 8, pp. 50-67.
<https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2013.12.006>

KUNTE P., JAUHARI N., MEHROTRA U., KOTHA M., HURSTHOUSE A., GAGNON A. (2014), *Multi-hazards coastal vulnerability assessment of Goa, India, using geospatial techniques*, in Ocean & Coastal Management, vol. 95, pp. 264-281.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.04.024>

LAGOMARSINO S., CATTARI S. (2015), *Perpetuate guidelines for seismic performance-based assessment of cultural heritage masonry structures*, in Bulletin of Earthquake Engineering, vol. 13, pp. 13-47.
<https://doi.org/10.1007/s10518-014-9674-1>

LANG K., BACHMANN H. (2003), *On the seismic vulnerability of existing unreinforced masonry buildings*, in Journal of Earthquake Engineering, vol. 7, pp. 407-426.
<https://doi.org/10.1080/13632460309350456>

LEONI G., BARCHESI F., CATALLO F., DRAMIS F., FUBELLI G., LUCIFORA S., MATTEI M., PEZZO G., PUGLISI C. (2010), *Una metodologia per la valutazione della suscettibilità da frana*, in GEOmedia, vol. 14, 2, pp. 24-26.
<https://mediageo.it/ojs/index.php/GEOmedia/article/view/418>

LIU B., SIU Y. L., MITCHELL G. (2016), *Hazard interaction analysis for multi-hazard risk assessment: a systematic classification based on hazard-forming environment*, in Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 16, pp. 629-642.
<https://doi.org/10.5194/nhess-16-629-2016>

LIU B., SIU Y. L., MITCHELL G. (2015), *Hazard interaction analysis for multi-hazard risk assessment: a systematic classification based on hazard-forming environment*, in Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions, vol. 3, pp. 7203-7229.
<https://doi.org/10.5194/nhessd-3-7203-2015>

LORA C., DE FRANCESCHI M., SITTA M., ZARDI D. (2006), *Determinazione dell'effetto 'isola di calore urbana' in una città alpina mediante utilizzo di reti di sensori a basso costo*, in Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche - IDRA.
<https://www.comune.modena.it/lecittasostenibili/il-clima-delle-citta/allegati/contrib6.pdf>

LUCCHESI F. (2005), *Rappresentare l'identità del territorio: gli Atlanti e le Carte del patrimonio*, in Magnaghi (2005), pp.23-38.

- LUCCHETTI C., DE FRANCESCHI M., SITTA M., ZARDI D. (2019), *Integrating radon and thoron flux data with gamma radiation mapping in radon-prone areas. The case of volcanic outcrops in a highly-urbanized city (Roma, Italy)*, in *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 202, pp. 41-50.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.02.004>
- MAGNAGHI A. (2000), *Il progetto locale*, Bollati Boringhieri, Torino.
- MAGNAGHI A. (2005), (a cura di), *La rappresentazione identitaria del territorio*, Alinea, Firenze.
- MAGNAGHI A. (2020), *Il principio territoriale*, Bollati Boringhieri, Torino.
- MARCONI P. (1928), *Vitorchiano*, in *Rivista dell'U.N.I.T.I.*
- MARCONI P. (1957), *I comuni fra la bassa Valle dell'Aniene ed il Tevere*, in *Quaderni dell'Istituto di Urbanistica*: n. 1, Facoltà di Architettura, Università di Roma.
- MARCONI P. (1966), *Il territorio della media Valle del Tevere, Il comprensorio tra la Via Flaminia e il mare*, in *Quaderni dell'Istituto di Urbanistica*, n. 3, Facoltà di Architettura, Università di Roma.
- MARCONI P. (1970), *San Martino al Cimino*, in *Il comprensorio tra la via Flaminia e il mare: problemi di sviluppo e lunghissimo termine dell'espansione edilizia e della viabilità della capitale*, in *Quaderni di ricerca urbanologica e tecnica della pianificazione*, Facoltà di Architettura, Università di Roma, pp.137-138.
- MARCONI P. (1997), *Manuale del recupero del centro storico di Palermo*, Flaccovio, Palermo.
- MARTINCIGH L. (2004), *Mobilità sostenibile, le strade a diversa velocità, Il Progetto Sostenibile*, n.3/2004.
- MARTINCIGH L. (2008), *Linee guida per il progetto della mobilità*, in Amirante M.I. (a cura di), *Effettocittà stare vs transitare – la riqualificazione dell'area dismessa di Napoli est*, Alinea editrice s.r.l., Firenze.
- MARTINCIGH L. (2009), *La mobilità sostenibile: un toolbox per la valutazione dei progetti - Sustainable mobility: a toolbox for design assessment*, DEI, Roma, I ed.
- MARTINCIGH L. (2012), *Strumenti di intervento per la riqualificazione urbana*, Gangemi editore S.p.A., Roma.
- MARTINCIGH, L., DI GUIDA, M. (2016), *La mobilità sostenibile come strumento di riqualificazione delle infrastrutture stradali urbane: un approccio metodologico - Sustainable mobility as a way for upgrading urban street infrastructures: a methodological approach*, Techne, FUP Firenze University Press, vol. 11, pp. 180-187.
<https://doi.org/10.13128/Techne-18419>
- MARTINCIGH, L., DI GUIDA, M. (2019), *A pervasive, slight green network for improving citizens' wellbeing: some experiences and proposals*, in Gospodini, A. (a cura di), *International Conference on Changing Cities IV, Spatial, Design, Landscape & Socio-Economic Dimensions*, Chania, Crete Island, Greece, Volos: University of Thessaly, Department of Planning and Regional Development, Laboratory of Urban Morphology & Design.
- MARTINELLI L. (2022), *Tutti gli eventi estremi della calda estate 2022*, Altreconomia.
<https://altreconomia.it/tutti-gli-eventi-estremi-della-calda-estate-2022/>
- MARULANDA, M.C., CARREÑO, M.L., CARDONA, O.D., ORDAZ M.G., BARBAT A.H. (2013), *Probabilistic earthquake risk assessment using CAPRA: application to the city of Barcelona, Spain*, in *Natural Hazards*, vol. 69, pp. 59-84.
<https://doi.org/10.1007/s11069-013-0685-z>
- MARZOCCHI W., DI RUOCCO A., MASTELLONE M., (2009), *Principles of multi-risk assessment : interaction amongst natural and man-induced risks*, Publications Office of the European Union.
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/22eb788f-5d0a-496a-92d4-4759b0b57fde>

- MARZOCCHI W., GARCIA-ARISTIZABAL A., GASPARINI P., MASTELLONE M.L., DI RUOCCO A. (2012), *Basic principles of multi-risk assessment: a case study in Italy*, in *Natural Hazards*, vol. 62, pp. 551–573.
<https://doi.org/10.1007/s11069-012-0092-x>
- MASSARIOLO A. (2020), *Crisi climatica: ecco quanto è aumentata la temperatura nei comuni italiani*, Il Bo Live, Università di Padova.
<https://ilbolive.unipd.it/it/news/crisi-climatica-ecco-quanto-aumentata-temperatura>
- MASTELLONE M.L. (2008), *Gli strumenti di supporto alla decisione. La valutazione del rischio ambientale*, pp. 1–40.
http://www.campania.istruzione.it/nprogetti/educazione_salute/rifiuti/lezione10.pdf
- MELETTI C., GALADINI F., VALENSISE G., STUCCHI M., BASILI R., BARBA S., VANNUCCI G., BOSCHI E. (2007), *The ZS9 seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*, *Tectonophysics*.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.01.003>
- MENETREZ M.Y., MOSLEY R.B. (1996), *Evaluation of radon emanation from soil with varying moisture content in a soil chamber*, in *Environment International*, vol. 22, 1, pp. 447–453.
[https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(96\)00145-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(96)00145-6)
- MENONI, S. (2019), *Per un approccio territoriali ai piani di emergenza*, in FRANCINI M., PALERMO A., VIAPIANA M.F., *Il piano di emergenza nell'uso e nella gestione del territorio*, FrancoAngeli, Milano, pp. 17–33.
- MERZ B., KREIBICH H., SCHWARZE R., THIEKEN A. (2010), *Review article “Assessment of economic flood damage”*, in *Natural Hazards Earth System Sciences*, vol. 10, pp. 1697–1724.
<https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>
- MIDDELMANN M., GRANGER K., (2000), *Community risk in Mackay: a multi-hazard risk assessment*, Australian Geological Survey Organization, Cities Project.
- MINISTERO DELLA SALUTE, PIANO NAZIONALE – Centro Nazionale Prevenzione e controllo malattie (2019), *Piano Nazionale di Prevenzione degli effetti del caldo sulla salute. Linee di indirizzo per la prevenzione. Ondate di calore e inquinamento atmosferico*.
https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_2867_allegato.pdf
- MINISTERO DELLA SALUTE, Direzione generale della prevenzione sanitaria. Dipartimento di epidemiologia del Servizio sanitario regionale Regione Lazio – DEP Lazio (2022), *Cosa sono le ondate di calore?*
<https://www.deplazio.net/clima-aria-pollini/calore.html>
- MITCHELL T., TANNER T., HAYNES K. (2009), *Children as agents of change for Disaster Risk Reduction. Lessons from El Salvador and the Philippines*, Working paper, IDS, Institute of Development Studies, Plan International, vol. 1, pp. 1–41.
- MOHAJERANI A., BAKARIC J., JEFFREY-BAILEY T. (2017), *The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete*, in *Journal of Environmental Management*, vol. 197.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- MORCAVALLO O. (2013), *Mappe delle isole di calore urbane da satellite a supporto di analisi epidemiologiche*, Tesi sperimentale, Facoltà di Ingegneria, Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Spaziale, Cattedra di Telerilevamento Ambientale, Università degli Studi La Sapienza, Roma.
- MORETTI L., CANTISANI G., CARPICECI M., D'ANDREA A., DEL SERRONE G., DI MASCIO P. LOPRENCIPE G. (2021), *Effect of Sampietrini Pavers on Urban Heat Islands*, in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18.
<https://doi.org/10.3390/ijerph182413108>
- MORONI A., MOSETTI G. (2013), *Cave Liberty, Architettura, vita e stili*, Cave.
- MURATORI S. (1950), *Vita e storia delle città*, in *Rassegna Critica di Architettura*, vol. 11–12, pp. 3–52

- MURATORI S. (1960), *Studi per una operante storia urbana di Venezia. I: Quadro generale dalle origini agli sviluppi attuali*, estratto da (1959) *Palladio: rivista di storia dell'architettura*, 3-4, poi in Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- MURATORI S., BOLLATI R., BOLLATI S., MARINUCCI G., (1963), *Studi per una operante storia urbana di Roma*, Centro Studi di Storia Urbanistica, Roma.
- MUSCO F., MARAGNO D., MAGNI F., INNOCENTI A., NEGRETTO V. (2016), *Padova Resiliente. Linee guida per la costruzione del piano di adattamento al cambiamento climatico*, Corila, p. 36.
- NEZNAL M., NEZNAL M. (2005), *Permeability as an important parameter for radon risk classification of foundation soils*, in *Annals of Geophysics*, vol. 48, pp. 175-180.
<https://doi.org/10.4401/ag-3192>
- NEZNAL M., NEZNAL M., MATOLÌN M., BARNET I., MIKSOVA J. (2004), *The new method for assessing the radon risk of building sites Czech*, in *Geological Survey Special Papers*, CGS Praga.
<https://www.radon-vos.cz/pdf/metodika.pdf>
- NOBRE A.D., CUARTAS L.A., HODNETT M., RENNÓ C.D., RODRIGUES G., SILVEIRA A., SALESKA S. (2011), *Height Above the Nearest Drainage—a hydrologically relevant new terrain model*, in *Journal of Hydrology*, vol. 404, 1-2, pp. 13-29.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>
- NORBERG-SCHULZ C. (1979), *Genius Loci. Paesaggio Ambiente Architettura*, Electa, Milano.
- NORRIS F.H., CUARTAS L.A., HODNETT M., RENNÓ C D., RODRIGUES G., SILVEIRA A., SALESKA S. (2002), *60,000 disaster victims speak: Part I. An empirical review of the empirical literature, 1981-2001*, in *Psychiatry*, vol. 65, 3, pp. 207-239.
<https://doi.org/10.1521/psyc.65.3.207.20173>
- NURUZZAMAN MD. (2015), *Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures - A Review*, in *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, vol. 3, pp. 67-73.
<https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15>
- OCS OSSERVATORIO CITTÀ SOSTENIBILI. Dipartimento Interateneo Territorio, Politecnico e Università di Torino, (a cura di) (2006), *L'ambito residenziale, la "zona 30" e la normativa italiana. Linee Guida NISS 3, Piano regionale della sicurezza stradale*.
<https://www.trafficlab.eu>
- OLIVIERI M. (2013), *Dalla SUM alla CLE: strategie a confronto per la sicurezza degli insediamenti*, in *Urbanistica Dossier*, vol. 130.
- ORDAZ M., MARTINELLI F., D'AMICO V., MELETTI C. (2013) *CRISIS2008: a flexible tool to perform probabilistic seismic hazard assessment*, in *Seismological Research Letters*, vol. 84, pp. 495-504.
<https://doi.org/10.1785/0220120067>
- OMS-ORGANIZZAZIONE MONDIALE DELLA SANITÀ (1948), *Costituzione dell'Organizzazione mondiale della Sanità* (Firmata a Nuova York il 22 luglio 1946, Entrata in vigore il 7 aprile 1948)
https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1948/1015_1002_976/it
- PAGANI M., MONELLI D., VIGANÒ D., WEATHERILL *et al.* (2014), *OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model*, in *Seismological Research Letters*, vol. 85, 3, pp. 692-702.
<https://doi.org/10.1785/0220130087>
- PAOLACCI F., D'AVERSA M. (2020), *Analisi del rischio sismico del centro storico della città di Cave*, Tesi di Laurea Magistrale, Università degli Studi Roma Tre, Roma.
- PAOLACCI F., GIANNINI, R. (2009), *Seismic reliability assessment of a high voltage disconnect switch using an effective fragility analysis*, in *Journal Of Earthquake Engineering*, vol. 13, 2, pp. 217-235.
<https://doi.org/10.1080/13632460802347448>

- PAVESI L., D'ANGELO C., VOLPI E., FIORI A. (2022), *A geomorphology-based, hydrologic-hydraulic model for large-scale inundation mapping*, in *Journal of Flood Risk Management*.
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12841>
- PETROSELLI A. (2012), *LIDAR Data and hydrological applications at the basin scale*, in *GIScience & Remote Sensing*, vol. 49, 1, pp. 139-162.
<https://doi.org/10.2747/1548-1603.49.1.139>
- PETRULLO A. (2010), *Studio della presenza di gas Radon nel territorio comunale di Civitavecchia*, Tesi di Laurea Magistrale in Geologia del Territorio e delle Risorse, Università degli Studi Roma Tre, Roma.
- PUT - PIANO URBANO DEL TRAFFICO, art.36 D.L. 285/1992 *Nuovo codice della strada* - GU Serie Generale n.67 del 22-03-1994 - Suppl. Ordinario n. 49, Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei Piani Urbani del traffico, Ministero dei Lavori Pubblici, GU 24.06.1995.
- PILONE E., DEMICHELA M., BALDISSONE, G. (2019), *Multi-risk assessment: A sensitivity test for a local-scale semi-quantitative methodology*, in *Chemical Engineering Transactions*, vol. 77, pp. 547-552.
<https://doi.org/10.3303/CET1977092>
- PITILAKIS K., CROWLEY H., KAYNIA A.M. (2014), *SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk*, Springer.
- POLJANŠEK K., MARIN FERRER M., DE GROEVE T., CLAR I. (2017), *Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less*, Publications Office Of the European Union, Lussemburgo.
- PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI, Struttura di Missione Casa Italia (2017), *Rapporto sulla promozione della sicurezza dai rischi naturali del patrimonio abitativo*.
https://www.casaitalia.governo.it/media/1317/casa-italia_rapporto-online.pdf
- PRIESTLEY M.J.N., CALVI G.M., KOWALSKY M. (2007), *Displacement-based seismic design of structures*, Iuss Press, Pavia.
- PUGLISI C. Falconi L., Grauso S. et al. (2013), *Valutazione della pericolosità da frana nel territorio del Comune di Messina*, ENEA-RT-2013-18.
<https://hdl.handle.net/20.500.12079/6666>
- RAFFERTY J. P. (2018), *Heat wave*, Encyclopedia Britannica.
<https://www.britannica.com/science/heat-wave-meteorology>
- REMONDINO F., EL-HAKIM S. (2006), *Image-based 3D Modelling: A review*, in *The Photogrammetric Record*, vol. 21, pp. 269-291.
<https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2006.00383.x>
- REMOTTI F. (1999), *Contro l'identità*, Laterza, Bari.
- RICHON P., PERRIER F., KOIRALA B.P., GIRAULT F., BHATTARAI M., SAPKOTA S.N. (2011), *Temporal signatures of advective versus diffusive radon transport at a geothermal zone in Central Nepal*, in *Journal Environmental Radioactivity*, vol. 102, pp. 88-102.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.10.005>
- ROMBAI L. (2015), *Geografia storica e sue applicazioni alle politiche del paesaggio e del territorio. A proposito del caso toscano: valutazioni critiche e propositive*, in A. D'Ascenzo (a cura di), *Geostoria. Geostorie*. Cisge, pp. 165-174.
- ROSHANI, K. (1997), *Youth participation in youth development*, Annual Meeting of the Comparative and International Education society, Mexico City, ERIC Clearinghouse.

- ROTA M., PENNA A., STROBBIA C.L. (2008), Processing Italian damage data to derive typological fragility curves, in "Soil Dynamics Earthquake Engineering", vol. 28, pp. 933–947.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2007.10.010>
- ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P. *et al.* (2016), *Italian Parametric Earthquake Catalogue (CPTI15)*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
<https://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>
- SABETTA F. (2012), *Italian Civil protection and the Matrix project*, at the Matrix meeting, Naples, Italian Department of Civil Protection – *Overview of the potential major disasters in Italy: hydro-geological/ hydraulic, seismic and volcanic risks.*
- SAMELA C., ALBANO R., SOLE A., MANFREDA S. (2018), *A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas*. Computers, in *Environment and Urban Systems*, vol. 70, pp. 43–52.
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.01.013>
- SANDMAN P. (2013), *Outrage Management (Low Hazard, High Outrage)*, The Peter Sandman Risk Communication.
<https://www.psandman.com/index-OM.htm>
- SCANU, G., PODDA, C., SPANU, B. (2014), *Innovazione digitale nella gestione del territorio. Gis e webgis tra semplificazione e sburocratizzazione*, in *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, vol. 149, EUT (Edizioni Università di Trieste), Trieste.
- SCHMIDT J., MATCHAM, I. REESE S., KING A., BELL R., HENDERSON R., HERON D. (2011), *Quantitative multi-risk analysis for natural hazards: a framework for multi-risk modelling*, in *Natural Hazards*, vol. 58, 3, pp. 1169–1192.
<https://doi.org/10.1007/S11069-011-9721-Z>
- SCHMIDT-THOMÉ P., KALLIO H., JARVA J., TARVAINEN T. (2005), *The spatial effects and management of natural and technological hazards in Europe*, in *Journal Final Report of the European Spatial Planning and Observation Network (ESPON) project 1.3.1.*
<https://www.espon.eu/programme/projects/espon-2006/thematic-projects/spatial-effects-natural-and-technological-hazards>
- SCHUBERT M., SCHULZ H. (2002), *Diurnal radon variations in the upper soil layers and at the soil-air interface related to meteorological parameters*, in *Health Physics*, vol. 83, 1, pp. 91–96
<https://doi.org/10.1097/00004032-200207000-00010>
- SELVA J. (2013), *Long-term multi-risk assessment: statistical treatment of interaction among risks*, in *Natural Hazards*, vol. 67, 2, pp. 701–722.
<https://doi.org/10.1007/s11069-013-0599-9>
- SEVERATI C. (2006), *MasterPlan della Medina di Costantina*, Edizioni Kappa, Roma.
- SGREZZAROLI M., VASSENA G. (2007), *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner*, Starrylink.
- SPERLING M., BERGER E., MAIR V., BUSSADORI V., WEBER F. (2007), *Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne (GZP) und zur Klassifizierung des spezifischen Risikos (KSR)*. Tech. rep., Autonome Provinz Bozen.
- STABILE F.R. (2009), *Cultura dei luoghi e recupero dell'edilizia storica*, in *Centri storici minori. Progetti per il recupero della bellezza*, a cura di Francesca Romana Stabile, Michele Zampilli e Chiara Cortesi, Gangemi, Roma, pp. 47–66.
- TERZI S., TORRESAN S., SCHNEIDERBAUER, S., CRITTO A., ZEBISCH M., MARCOMINI A. (2019), *Multi-risk assessment in mountain regions: A review of modelling approaches for climate change adaptation*, *Journal of Environmental Management*, vol. 232, pp. 759–771.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.100>
- THOM E.C. (1959), *The discomfort index*, in "Weatherwise", vol. 12, 2, pp. 57–61.
<https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>

TUCCIMEI P., CASTELLUCCIO M., SOLIGO M., MORONI M. (2009), *Radon exhalation rates of building materials: experimental, analytical protocol and classification criteria*, in DONALD N.C., JASON L., *Building materials: Properties, Performance and Applications*, Haro Editori, Nova Science Publishers, Hauppauge, New York.

TURRI E. (2002), *La conoscenza del territorio. Metodologia per un'analisi storico geografica*, Marsilio Editori, Venezia.

TUTTITALIA (2021), *Statistiche demografiche. Indici demografici e Struttura Lazio*.
<https://www.tuttitalia.it/lazio/statistiche/indici-demografici-struttura-popolazione/>

UNIONE ASTROFILI ITALIANI
<https://www.uai.it>

URSANO R.J., FULLERTON C.S., NORWOOD A.E. *et al.* (2003), *Terrorism and disaster: Individual and community mental health interventions*, Cambridge University Press, pp. 1-20.

U.S. Environmental Protection Agency (2012), *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies*, Draft.
<https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>

VAN WESTEN C.J., WOLDAI T. (2012). *The RiskCity Training Package on Multi-Hazard Risk Assessment*, in International Journal of Applied Geospatial Research (IJAGR), vol. 3, 1, pp. 41-52.
<http://doi.org/10.4018/jagr.2012010104>

VAN WESTEN C. J., MONTOYA L., BOERBOOM L. & BADILLA COTO E. (2002, September), *Multi-hazard risk assessment using GIS in urban areas: a case study for the city of Turrialba, Costa Rica*, in Proc. Regional workshop on Best Practise in Disaster Mitigation, Bali (pp. 120-136).

VANZI I., MARANO G.C., MONTI G., NUTI C. (2015), *A synthetic formulation for the Italian seismic hazard and code implications for the seismic risk*, in Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 77, pp. 111-122.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2015.05.001>

WELLS K. B., TANG J., LIZAOLA E., JONES F., BROWN A., STAYTON A., *et al.* (2013), *Applying community engagement to disaster planning: developing the vision and design for the Los Angeles County Community Disaster Resilience initiative*, in American journal of public health, 103(7), 1172-1180.

WIEGAND J. (2001), *A guideline for the evaluation of the soil radon potential based on geogenic and anthropogenic parameters*, in Environmental Geology, vol. 40, pp. 949-963.
<https://doi.org/10.1007/s002540100287>

WILCHES-CHAUX G (2007), *¿Que nos pasa? Guía de la red para la gestión radical de riesgos asociados con el fenómeno enos*, ARFO Editores e Impresores Ltda, Bogotá.

WINKLER R., RUCKERBAUER F., BUNZL K. (2001), *Radon concentration in soil gas: a comparison of the variability resulting from different methods, spatial heterogeneity and seasonal fluctuations*, in The Science of the Total Environment, vol. 272, 1-3, pp. 273-282.
[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00704-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00704-5)

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2013), *Health and environment: communicating the risks*, World Health Organization, Regional Office for Europe.

WORSTER (1994), *Storia delle idee ecologiche*, Il Mulino, Bologna.

ZAMPILLI M. (2017), *Lettura processuale dei tessuti urbani: esperienze di ripristino*, in *Le lacune urbane tra presente e futuro*, in Atti del convegno (Pescara, 4 marzo 2015), a cura di Dalla Negra R., Varagnoli C., GBE (Ginevra Bentivoglio Editore), Roma, pp. 117-128.

ZAMPILLI M. (a cura di) (2014), *Centri storici del Mediterraneo: architetture, migrazioni, permanenze*. Ricerche di Storia dell'Arte, n.112.

ZAMPILLI M., (2012), *Progetto Perù – Proyecto Perù Piani e progetti per il recupero di Castrovirreyna e Huaytarà – Planes y proyectos para la recuperación de Castrovirreyna e Huaytarà*, Aracne Editrice srl, Roma.

ZAMPILLI M., BRUNORI G. (a cura di) (2021), *Ricostruire Arquata. Studi, ricerche e rilievi per la redazione dei piani e dei programmi di ricostruzione e recupero dei centri storici del comune di Arquata del Tronto*, RomaTrePress, Roma.

ZAMPILLI M., BRUNORI G. (2020), *Metodi e pratiche per il recupero delle identità ed il miglioramento della sicurezza nei centri terremotati dell'Appennino centrale*, in Oteri A.M., Scamardi G. (a cura di), *Un paese ci vuole. Studi e prospettive per i centri abbandonati e in via di spopolamento*, ArchHistoR, extra n. 7.

ZAULI SAJANI S. et al. (2016), *UHI in the Metropolitan Cluster of Bologna-Modena: Mitigation and Adaptation Strategies*, in MUSCO, F. et al., *Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario*, Springer, Cham, pp. 131-200.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-10425-6_6

ZERI F. (a cura di) (1980), *Storia dell'arte italiana*, Einaudi, Torino.

ZHENG X., MAIDMENT D. R., TARBOTON D. G., LIU Y. Y., PASSALACQUA P. (2018), *GeoFlood: Large-scale flood inundation mapping based on high-resolution terrain analysis*. in *Water Resources Research*, vol. 54, 12, pp. 10-13.

<https://doi.org/10.1029/2018WR023457>

ZUBIR S.S., AMIRROL H. (2011), *Disaster risk reduction through community participation*, Conference: Ravage of the planet III, vol. 148, WIT Press.

<https://doi.org/10.2495/RAV110191>

Il volume presenta gli esiti della ricerca condotta da un gruppo di docenti dei Dipartimenti di Architettura, Scienze, Ingegneria (DICITA) e Scienze della Formazione, coadiuvati da assegnisti e collaboratori a contratto presenti nelle diverse fasi di lavoro, finanziata dall'Università Roma Tre nell'ambito del Piano straordinario di sviluppo della ricerca.

Il progetto, nato con l'obiettivo di dare un contributo al tema della prevenzione e mitigazione dei rischi naturali e ambientali nelle Aree Interne del Lazio, ha avuto come esito la definizione di un protocollo, ovvero di una procedura operativa che si propone, attraverso l'ipotesi di un sistema di finanziamenti erogati dalla Regione, di mettere le amministrazioni locali nelle condizioni di eseguire una valutazione qualitativa del rischio indotto da differenti eventi naturali (o rischio multi-hazard) e di individuare le aree sulle quali intervenire in maniera prioritaria con le analisi di dettaglio, utili ai fini della programmazione e predisposizione dei progetti di mitigazione. Lo specifico ambito di applicazione non è da intendersi in maniera esclusiva, in quanto le Aree Interne sono caratterizzate da dinamiche simili a livello nazionale. Inoltre, le procedure e le metodologie operative sviluppate nell'ambito del protocollo possono rappresentare in ogni caso, per i comuni, strumenti operativi finalizzati alla conoscenza territoriale, indispensabile tanto per la messa in sicurezza quanto per le ordinarie pratiche di governo del territorio.

L'articolazione del volume in quattro parti ripercorre le fasi di confronto interdisciplinare svoltosi tra i componenti del gruppo di ricerca, che hanno lavorato con l'obiettivo integrare, nella direzione degli obiettivi prefissati, le metodologie di lavoro abitualmente messe in atto nei diversi ambiti tecnico-scientifici e umanistici. La metodologia proposta è stata applicata al territorio comunale della città di Cave (RM), grazie alla collaborazione fattiva dell'amministrazione comunale e ai risultati di alcune attività didattiche che sono state proficuamente integrate nella ricerca.

Giovanna Spadafora, Architetto, Dottore di Ricerca nel settore Icar/17 Disegno, è Professore associato nel Dipartimento di Architettura dell'Università Roma Tre. Si occupa di rilevamento architettonico, archeologico e urbano e di storia dei metodi della rappresentazione. Tra le sue ricerche, si segnalano quelle condotte su contesti archeologici (Pompei e Roma) e quelle su alcuni centri storici in Calabria. Attualmente è vice coordinatore del progetto *OCSHC Oriental Cuba Small Historical Centres*, finanziato dall'AICS, svolto dal Dipartimento di Architettura in collaborazione con la Oficina del Conservador di Santiago de Cuba e la Universidad de Oriente.