

25 collana
Patrimonio culturale e territorio

DIGITAL TWIN PER IL PATRIMONIO CULTURALE: DATI E INTEROPERABILITÀ

Interviste e contributi sullo stato dell'arte e sulle prospettive future della digitalizzazione 3D dei beni culturali

a cura di
Giovanna Spadafora, Mauro Saccone

RomaTrE-Press
2026



DIGITAL TWIN PER IL PATRIMONIO CULTURALE: DATI E INTEROPERABILITÀ

Interviste e contributi sullo stato dell'arte e sulle prospettive future della digitalizzazione 3D dei beni culturali

atti della Giornata di Studi, Roma 5 dicembre 2024

a cura di
Giovanna Spadafora, Mauro Saccone

Roma TrE-Press
2026

Questa pubblicazione è stata finanziata dalla Regione Lazio e dal MIUR Det. G12666 del 18.10.2021, pubblicata sul BURL n. 99 del 21.\10.2021, Atto di Impegno del 10.01.2022, Avviso pubblico di LAZIO INNOVA, società in house della Regione Lazio, Accordo di programma quadro "Ricerca, Innovazione Tecnologica, Reti Telematiche" (APQ6) - Stralcio "Attuazione degli interventi programmatici e dei nuovi interventi relativi al Distretto Tecnologico per le nuove tecnologie applicate ai beni e alle attività culturali". Intervento TE1 - Invito al Centro di Eccellenza a presentare progetti per la seconda fase - Progetti RSI - CUP F85F21001090003.

collana
Patrimonio culturale e territorio

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

Volume n° 25

Cura scientifica
Giovanna Spadafora, Mauro Saccone

Progetto grafico e cura redazionale
Alessio Agresta

Coordinamento editoriale
Gruppo di lavoro *RomaTrE-Press*

Edizioni *RomaTrE-Press* ©
Roma, ottobre 2026
ISBN 979-12-5977-660-0
http://romatrepress.uniroma3.it

Quest'opera è assoggettata alla disciplina Creative Commons attribution 4.0 International Licence (CC BY-NC-ND 4.0) che impone l'attribuzione della paternità dell'opera, proibisce di alterarla, trasformarla o usarla per produrre un'altra opera, e ne esclude l'uso per ricavarne un profitto commerciale.
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 *RomaTrE-Press* è svolta nell'ambito Fondazione Roma Tre-Education, piazza della Repubblica 10, 00185, Roma

In copertina: Foro Romano, marzo 2017. Foto di Giovanni Longobardi.

I caratteri tipografici utilizzati sono Helvetica Neue e Bembo.

---

n° 25 *Digital Twin per il patrimonio culturale:*
dati e interoperabilità. Interviste e contributi sullo stato dell'arte e sulle prospettive future della digitalizzazione 3D dei beni culturali

Sommario

9 **Prefazione**
Giovanna Spadafora, Mauro Saccone

13 **Verso un'ecologia della documentazione 3D: archivi, metadati e nuove forme di conoscenza e rappresentazione**
Giovanna Spadafora, Mauro Saccone

1. Digitalizzazione 3D. Stato dell'arte e prospettive future

37 **Introduzione**
Carla Masetti

41 **Intervista a Laura Moro**

45 **Il patrimonio culturale tra innovazione, persone e comunità: la mappa SHARE. Pratiche di cultura al digitale**
Elena Pelosi

51 **La strategia nazionale per la digitalizzazione del patrimonio culturale: modelli, standard e infrastrutture per un ecosistema interoperabile**
Valentina Rossetti, Giovanni Pescarmona, Lidia Fiorini

61 **DIGI-CULT CAMP: stato attuale dell'alfabetizzazione digitale delle organizzazioni culturali e creative nel panorama nazionale**
Valeria Carioti, Fabrizio Fuoco

2. Lavorare con i dati 3D

73 **Introduzione**
Marco Canciani

77 **Intervista a Nicoló Dell'Unto e Giacomo Landeschi**

87 **ATON framework**
Bruno Fanini

97 **Il web semantico per la conoscenza, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio culturale. L'esperienza di INCEPTION**
Federica Maietti

109 **Ercolano Digitale. La nuova piattaforma digitale del Parco Archeologico di Ercolano**
Ascanio D'Andrea, Simone Marino, Riccardo Montalbano

3. Open data e linked open data

123 **Introduzione**
Marialuisa Mongelli

127 **Intervista a Carlo Birrozzi**

133 **L'ontologia ArCo**
Margherita Porena

141 **Problematiche giuridiche dei modelli 3D**
Francesca Vessia

4. Il progetto D-TECH

163 **D-TECH. Un ambiente digitale federato per la gestione, l'uso e la valorizzazione dei dati 3D del patrimonio culturale**
Marco Canciani, Carla Masetti, Maria Luisa Mongelli, Mauro Saccone, Giovanna Spadafora

177 **Autori**

Prefazione

Giovanna Spadafora, Mauro Saccone

Il volume che qui si introduce raccoglie gli interventi presentati nella Giornata di Studi *Digital Twin per il patrimonio. Stato dell'arte e prospettive future della digitalizzazione dei beni culturali*, del 5 dicembre 2024, organizzata in occasione della conclusione del Progetto di ricerca *D-Tech Digital Twin Environment for Cultural Heritage*, finanziato dal DTC Lazio nel 2022. Le attività, coordinate dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre, sono state realizzate in stretta sinergia con il Dipartimento di Studi Umanistici dello stesso Ateneo, la divisione ICT (Information and Communication Technologies) dell'ENEA e il CNRS di Marsiglia; fondamentale è stato anche l'apporto dei rispettivi laboratori di ricerca: il RilTec (Laboratorio di Rilievo e Tecnologie Digitali), il LabGeoCaraci (Laboratorio geocartografico "Giuseppe Caraci), l'HPC (High-Performance Computing) e il LIS (Laboratoire d'Informatique et Systèmes).

L'idea di organizzare una Giornata di Studi è scaturita dalla volontà di avviare un confronto con esperti del settore e istituzioni impegnate nella digitalizzazione del patrimonio culturale. A partire dalle riflessioni emerse durante le attività di ricerca l'incontro ha offerto anche l'occasione per presentare la piattaforma web open source D-TECH, sviluppata nell'ambito del progetto, e finalizzata allo studio, alla conservazione e alla valorizzazione delle copie digitali dei beni culturali.

I lavori dell'incontro sono stati organizzati in forma di dialogo, strutturato su più livelli: da un lato, con le istituzioni che a scala nazionale governano e monitorano il processo di digitalizzazione 3D del patrimonio culturale; dall'altro, con centri di ricerca e università – italiani e internazionali – attivi nell'uso e

nella condivisione dei dati 3D attraverso piattaforme web; un ulteriore spazio è stato dedicato al tema della semantica e dei LOD (Linked Open Data), nonché a un approfondimento inerente all'analisi delle complesse problematiche giuridiche nell'uso dei modelli 3D.
L'ampia partecipazione di pubblico e i patrocini ricevuti – dall'UID (Unione Italiana Disegno), dall'ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) e dall'Ordine degli Architetti di Roma – hanno confermato il forte interesse per un confronto su questioni che, nell'era digitale, non solo incidono direttamente sulle pratiche operative, ma stanno trasformando anche i paradigmi culturali alla base delle modalità di gestione e tutela del patrimonio.
Da queste premesse nasce l'idea di pubblicare gli Atti della Giornata di Studi in un volume che si articola nelle tre sezioni che riflettono la medesima suddivisione degli interventi: *Digitalizzazione 3d. Stato dell'arte e prospettive future*; *Lavorare con i dati 3D*; *Open data e linked open data*. I contributi di ciascuna sezione – organizzata in un'intervista di apertura e saggi – sono preceduti da un'introduzione volta a delineare le tematiche affrontate dai diversi autori.
Il volume si chiude con una descrizione del Progetto D-TECH, di cui vengono illustrati gli obiettivi scientifici e i risultati conseguiti.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Comitato Scientifico della Giornata di Studi per il supporto alla organizzazione dell'evento: Marcello Balzani, Università di Ferrara, Dipartimento di Architettura | Giulia Bordi, Università Roma Tre, Dipartimento di Studi Umanistici | Claudio Cerreti, Presidente Società Geografica Italiana | Stefano Converso, Università Roma Tre, Dipartimento di Architettura | Maurizio Di Stefano, Presidente ICOMOS Italia | Francesca Fatta, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Architettura e Territorio | Graziano Mario Valenti, Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura | Paolo Visca, Prorettore alla Ricerca, Università Roma Tre.

A valle del lavoro svolto in occasione della Giornata di Studi, Barbara De Nitto ed Elisabetta Tortora hanno dato il loro contributo all'avvio della pubblicazione di questo volume e, anche di questo, siamo loro profondamente grati.

Con il patrocinio di:

Consiglio Internazionale dei Monumenti e dei Siti Comitato Nazionale Italiano | unione italiana disegno | ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI ROMA E PROVINCIA

Digital Twin per il patrimonio

Presente e futuro della digitalizzazione dei beni culturali

D-TECH Digital Twin Environment for Cultural Heritage

Giornata di studi
5 dicembre 2024 ore 9.00

Dipartimento di Architettura | Università degli Studi Roma Tre
Argiletum, via della Madonna dei Monti n.40,
Aula Urbano VIII

A chiusura del **progetto D-TECH**, *Digital Twin Environment for Cultural Heritage*, finanziato dal DTC Lazio, la giornata di studi è organizzata in forma di confronto/dialogo tra esperti, divisa in tre sessioni:

Sessione 1 | ore 9.00

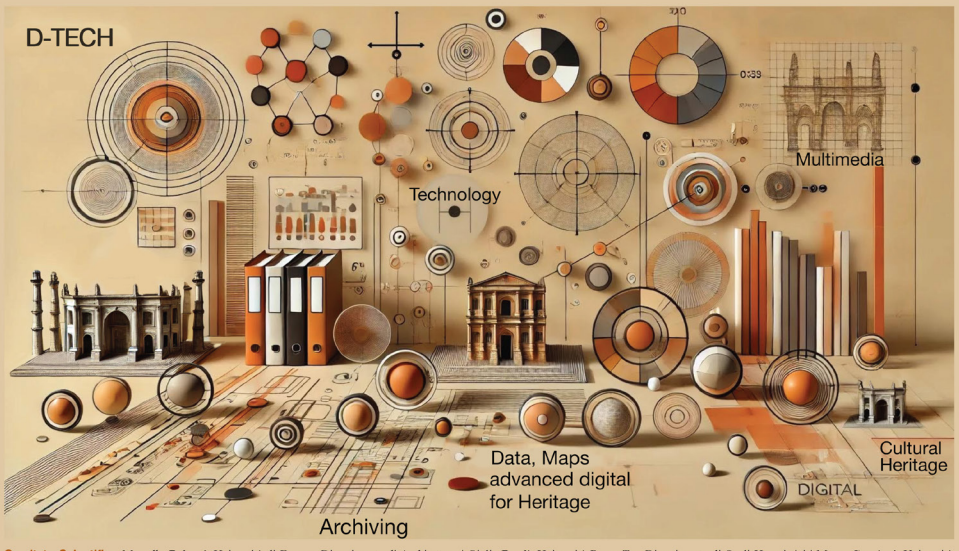
Stato dell'arte e prospettive future della digitalizzazione 3D del patrimonio culturale, dialogo con le istituzioni che ne governano e ne monitorano il processo a livello nazionale: l'Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale – *Digital Library*; la Fondazione Scuola dei beni e delle attività culturali; la DG ABAP; il DIGI-CULT CAMP.

Sessione 2 | ore 11.00

L'uso e la condivisione dei dati 3D per la ricerca, la formazione, l'analisi, e l'arricchimento di contenuti attraverso piattaforme web, dialogo con i principali attori italiani e internazionali coinvolti: ISPC-CNR per il *framework* Aton; *Lund University Digital Archaeology Laboratory*; Dipartimento di Architettura Università di Ferrara per il progetto *Inception*; Parco archeologico di Ercolano.

Sessione 3 | ore 12.00

Open DATA, semantica e LOD, dialogo con le istituzioni che hanno intrapreso questo percorso di condivisione e chi studia il profilo giuridico di queste iniziative, interverranno: l'ICCD sul nuovo Catalogo Generale; ricercatori dell'Università di Bologna sull'ontologia ARCO; docenti del Dipartimento di Giurisprudenza dell'Università di Bari.



Comitato Scientifico Marcello **Balzani**, Università di Ferrara, Dipartimento di Architettura | Giulia **Bordi**, Università Roma Tre, Dipartimento di Studi Umanistici | Marco **Canciani**, Università Roma Tre, Dipartimento di Architettura | Claudio **Cerreti**, Presidente Società Geografica Italiana | Stefano **Converso**, Università Roma Tre, Dipartimento di Architettura | Maurizio **Di Stefano**, Presidente ICOMOS Italia | Francesca **Fatta**, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Dipartimento di Architettura e Territorio | Carla **Masetti**, Università Roma Tre, Dipartimento di Studi Umanistici | Marialuisa **Mongelli**, ENEA, Divisione ICT-HPC | Mauro **Saccone**, Università Roma Tre, Dipartimento di Architettura | Giovanna **Spadafora**, Università Roma Tre, Dipartimento di Architettura | Graziano Mario **Valenti**, Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura | Paolo **Visca**, Prorettore alla Ricerca, Università Roma Tre.
Comitato Organizzatore Marco **Canciani**, Carla **Masetti**, Marialuisa **Mongelli**, Mauro **Saccone**, Giovanna **Spadafora**

Segreteria organizzativa Barbara **De Nitto**, Elisabetta **Tortora**
Coordinatori Giovanna **Spadafora**, Mauro **Saccone**

Per informazioni: https://dtech.uniroma3.it/

ROMA TRE UNIVERSITÀ DEGLI STUDI | DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA | Dipartimento di Studi UMANISTICI | ENEA | overIT | LiS | DTC LAZIO | REGIONE LAZIO

Verso un'ecologia della documentazione 3D: archivi, metadati e nuove forme di conoscenza e rappresentazione

Giovanna Spadafora, Mauro Saccone

1. Premessa

Nel corso degli ultimi due decenni, la documentazione 3D ha assunto un ruolo sempre più centrale nell'ambito dei progetti di tutela, studio e valorizzazione del patrimonio culturale[1]. Il continuo evolversi delle tecniche di acquisizione dei dati e il progressivo affinamento delle metodologie operative consentono di produrre copie digitali dei beni caratterizzate da elevati livelli di dettaglio e di accuratezza. Ciò ha comportato indubbi vantaggi, tra cui la possibilità di effettuare misurazioni sulla copia digitale, confrontare acquisizioni realizzate in tempi differenti per monitorare lo stato di conservazione dei beni e attribuire, a specifiche porzioni del modello, informazioni e documentazione relative alle attività di studio e ricerca. In tale contesto, la copia digitale sembra assumere il ruolo di sistema informativo dinamico, capace di supportare i processi di conoscenza, documentazione, analisi e gestione del patrimonio e di favorire l'integrazione di dati eterogenei all'interno di un unico ambiente di consultazione e lavoro.
Eppure, questa fase operativa pone sfide significative e ci porta a riflettere su alcune questioni fondamentali: in primo luogo sulla quantità di dati che oggi vengono prodotti e sulla loro qualità, effettiva utilità e usabilità nel breve e nel lungo periodo; a ciò si aggiunge il tema della conservazione dei dati: dove e come archiviare quantità sempre maggiori di informazioni digitali, garantendone al tempo stesso l'accessibilità, l'integrità e la possibilità di riutilizzo nel tempo?

---

[1] In questa sede, ci si riferisce prevalentemente al patrimonio architettonico e archeologico. Sul termine "patrimonio culturale" e sulla complessità che si cela dietro questa espressione, si veda quanto scritto da Laura Moro (Moro, 2026, pp. 13-39).

In sintesi, siamo chiamati a confrontarci sul tema della sostenibilità delle pratiche di documentazione digitale, ovvero a ragionare sul concetto di *durata*: siamo in grado di stimare la 'vita' della documentazione digitale che produciamo? Quale patrimonio conoscitivo stiamo costruendo oggi e quale eredità documentaria consegniamo a coloro che, in futuro, si rivolgeranno ai dati e ai modelli prodotti nella nostra epoca? Quali metodi e quali tecniche di rappresentazione utilizziamo per presentare gli esiti del nostro lavoro?
Le risposte a tali interrogativi possono essere ricercate nell'ambito di un approccio ecologico alla documentazione 3D, tema sul quale istituzioni, enti e gruppi di ricerca stanno concentrando la loro attenzione, come testimoniato dalle interviste e dai saggi contenuti in questo volume.
Parlare di ecologia della documentazione 3D significa considerare i dati tridimensionali non come oggetti isolati – una nuvola di punti, una mesh, un modello – ma come vari e differenti elementi inseriti in un ecosistema di relazioni: la sopravvivenza e il valore conoscitivo di un dato 3D dipendono dall'equilibrio fra tutte le componenti. Un modello, da solo, può diventare rapidamente illeggibile o perdere di senso; acquista invece valore quando conserva le relazioni con il proprio contesto produttivo, documentario e interpretativo. In altri termini, occorre riuscire a governare l'intero ciclo di vita dei dati: definire criteri per la loro produzione e selezione, contestualizzarne il significato, stabilire modalità efficaci di archiviazione e conservazione, nonché registrare in maniera adeguata metadati e paradati, indispensabili per documentare non solo il dato stesso, ma anche i processi, le scelte e le condizioni che ne hanno determinato la costruzione. La documentazione, infatti, non coincide mai con una registrazione neutrale della realtà, ma costituisce sempre il risultato di un processo di selezione, interpretazione e costruzione della conoscenza.
Quest'ultimo aspetto riporta al centro questioni che hanno da sempre accompagnato ogni attività di ricerca e che mantengono piena attualità anche in un contesto profondamente trasformato dalle tecnologie digitali: la coerenza tra le domande che vengono poste, l'oggetto di studio e le finalità dell'indagine, nonché la capacità critica necessaria per interpretare i dati e formulare risposte adeguate. Le tecnologie possono ampliare in misura considerevole le possibilità di osservazione, di acquisizione e anche di analisi, ma non sostituiscono il processo conoscitivo che orienta la ricerca e attribuisce significato alle informazioni raccolte.

2. Dall'eidotipo alla nuvola di punti: documentare come atto critico

Fino a tempi relativamente recenti, l'esito delle operazioni di rilevamento del patrimonio culturale era sostanzialmente costituito da disegni. L'attività comportava, a monte, una faticosa selezione ragionata di ciò che doveva essere misurato, in quanto ritenuto essenziale alla comprensione dell'oggetto studiato. Il disegno preparatorio (l'eidotipo) esprimeva una sintesi del dato reale, che

veniva interpretato e filtrato attraverso la conoscenza diretta del monumento e quella acquisita dalle fonti bibliografiche e iconografiche. Non esisteva un "dato grezzo" indipendente dalla sua descrizione grafica: si misurava ciò che era stato precedentemente individuato e rappresentato nell'eidotipo per arrivare successivamente a un disegno di restituzione complessivo, come esito consapevole della discretizzazione del dato reale[2].
La scelta su cosa disegnare e misurare introduceva, inevitabilmente, una componente soggettiva all'interno dell'elaborato grafico finale il quale, di fatto, ci parla al tempo stesso dell'oggetto rilevato e dell'autore del disegno, della sua cultura formale e delle priorità interpretative adottate. L'attività di rilevamento, prima dell'avvento degli strumenti di acquisizione massiva dei dati, potrebbe quindi essere descritta come un rapporto 'personale' tra rilevatore e opera, fondato su una relazione diretta tra il corpo di chi eseguiva il rilievo e quello del monumento o del bene da rilevare. Lo sguardo attento sulle cose guidava l'acquisizione della misura secondo i tempi necessariamente lunghi trascorsi a contatto diretto con l'opera, secondo una modalità che oggi non trova un diretto equivalente nelle pratiche del rilievo digitale: non si seleziona più a monte ciò che deve essere misurato, ma ci si affida all'acquisizione strumentale che alimenta l'illusione di poter ottenere una documentazione integrale[3] del bene la quale, paradossalmente, potrebbe essere prodotta senza nemmeno la mediazione di uno sguardo attento sull'opera. Il rapporto tradizionale tra interpretazione e misurazione è stato invertito: prima si misura, poi si interpreta quanto registrato in modo non selettivo dallo strumento: una grande quantità di dati, anche ridondanti o non pertinenti.
Il cambiamento più significativo introdotto dal rilievo 3D consiste nell'aver fatto coincidere il momento della misurazione con il suo esito visibile. Ciò ha contribuito, soprattutto nelle prime fasi del suo utilizzo, a far attribuire al dato 3D grezzo o al modello di rilievo[4] un valore documentale in sé, laddove

---

[2] La selezione dei dati era legata all'obiettivo delle operazioni di misura, che portava a specificare, nei manuali, quali metodologie utilizzare nel rilevamento archeologico, in quello per il restauro, o in quello finalizzato alla documentazione. Sul tema dei cambiamenti innescati dall'uso degli strumenti digitali nelle attività di rilievo, si vedano le riflessioni di Carlo Bianchini (2025).

[3] Grazie ai progressi delle tecnologie che consentono di riprodurre la realtà fisica e di visualizzarla anche all'interno di un dispositivo portatile, sembra essersi realizzata l'aspirazione, sempre presente nell'uomo, di rappresentare il mondo per quello che è. La letteratura è ricca di esempi che ci raccontano di mappe che, con l'obiettivo di essere esaustive, venivano realizzate in scala 1:1 – come la mappa di cui si parla nel dialogo tra Bruno e Mein Herr nel racconto di Lewis Carrol (1893, p. 393) – e si rivelavano poi inutilizzabili non solo per le loro dimensioni ma anche perché riprodurre la realtà così com'è nulla aggiunge alla conoscenza.

[4] Con il termine dato grezzo 3D intendiamo o singole nuvole di punti – esito di un rilievo laser scanner con valori di accuratezza e precisione certificabili – o il set di

invece, esso ne rappresenta solo una parte. Infatti, sebbene il dato grezzo rappresenti una risorsa documentale,[5] affinché possa trasformarsi in documentazione, ovvero in un insieme strutturato capace di generare informazioni, deve essere interpretato e contestualizzato, attraverso l'attribuzione di una corretta metadatazione. Potremmo, quindi, cercare di individuare un parallelismo tra la sequenza delle due attività precedentemente descritte e affermare che il dato grezzo, analogamente all'eidotipo, costituisca una delle fasi iniziali della filiera operativa orientata alla conoscenza di un bene. Solo che, se fino a qualche decennio fa per realizzare un eidotipo era necessario compiere un atto critico, selezionando gli elementi da disegnare e misurare, supportati anche da una preliminare indagine storico-architettonica del bene da rilevare, oggi, per ottenere un dato grezzo è sufficiente scegliere gli strumenti e le tecniche più adeguati (laser scanner, fotogrammetria, drone, SLAM) e definire alcuni parametri, come la densità e la qualità dei punti da acquisire, in relazione agli obiettivi dell'indagine. Nel primo caso, qualità e attendibilità del risultato erano legate alla cultura e alla capacità di osservazione del rilevatore, nel secondo dipendono solo da conoscenze tecniche[6]. Inoltre, nonostante l'eidotipo e il dato grezzo 3D descrivano entrambi visivamente l'oggetto misurato, esiste una sostanziale differenza: il primo è una sintesi grafica bidimensionale, frutto di una prima selezione ragionata degli elementi ritenuti significativi, funzionale anche alla apposizione delle misure; il secondo si presenta definito da un insieme di punti misurabili che restituisce il bene, o parte di esso, nella sua tridimensionalità. L'attività critica sul dato grezzo 3D si esplica in un secondo momento, attraverso un processo di selezione dei dati ritenuti utili[7] e, successivamente, attraverso la scelta dei piani di sezione orizzontali e verticali che consentono di eseguire una serie di analisi geometrico-inter-

---

immagini per la restituzione fotogrammetrica; con modello di rilievo intendiamo l'esito dell'allineamento delle nuvole o del processo fotogrammetrico, si veda in proposito Canciani & Saccone, 2011.

5 Il valore del dato grezzo dipende in primo luogo dall'impostazione del rilievo 3D, ovvero dalla scelta dei parametri che ne determinano la verificabilità e la riutilizzabilità, anche da parte di soggetti terzi.

6 Spesso, oggi, chi esegue tecnicamente il rilievo 3D non è lo studioso interessato al bene culturale, le due figure sono separate e allo studioso è richiesto solo di chiarire all'operatore quale sia l'obiettivo finale dell'acquisizione del dato.

7 Occorre sottolineare alcuni aspetti particolarmente eclatanti dell'uso delle tecnologie digitali nel campo del rilevamento: è aumentata la quantità di dati che è possibile acquisire, è cresciuta la loro precisione e tutto avviene con un minore impiego di tempo. Non sempre, tuttavia, tutti i dati acquisiti sono necessari agli obiettivi dell'indagine e, soprattutto, la quantità di dati prodotta incide sul peso, cioè sullo spazio richiesto per la loro memorizzazione, e pone questioni rilevanti riguardo alle modalità di gestione e ai luoghi della loro conservazione (a questo proposito si veda il paragrafo 3).

pretative. La posizione dei piani di sezione può essere variata innumerevoli volte e la comprensione di quanto rilevato è resa più agevole dalla possibilità di ruotare le viste per osservare gli elementi architettonici da punti preferenziali. È indubbio che la possibilità di lavorare sul dato 3D ampli la possibilità di analisi dell'oggetto studiato che non è più – come in passato – descritto esclusivamente dalla selezione fatta a priori ma che, restituito sotto forma di copia digitale, condensa una serie di informazioni che aspettano solo di essere disvelate. È possibile, infatti, riconoscere al dato 3D grezzo una funzione euristica – tradizionalmente attribuita al disegno a mano – intesa come capacità di stimolare ragionamenti nuovi, ampliare le possibilità di analisi e contribuire alla conoscenza di aspetti del bene non preventivamente considerati. Poter lavorare sul dato 3D significa disporre di elementi latenti del bene che possono essere scoperti e analizzati anche in momenti differiti nel tempo o essere esito di indagini guidate da differenti finalità. Pertanto, nell'ambito della digitalizzazione del patrimonio culturale, il paradigma multimediale di cui Raffaele Simone[8] parlava all'inizio degli anni Duemila, si esplica nell'interazione: la copia digitale (intendendo con questo i dati grezzi) non rappresenta l'esito finale, concluso, puramente visuale delle operazioni di rilevamento, ma è uno strumento di lavoro, un 'serbatoio di conoscenze'[9]. Tuttavia, occorre continuare a interrogarsi, in generale, sulla capacità dell'uomo di gestire l'enorme quantità di dati che la tecnologia mette a disposizione[10]. Un eccesso di informazioni, se non organizzate o contestualizzate, non si traduce automaticamente in un incremento di conoscenza.

A questo proposito, un'ulteriore conseguenza dell'adozione delle tecnologie di rilievo 3D è stata, almeno inizialmente, l'identificazione tra le immagini della nuvola di punti di un bene e la sua descrizione. Questa, invece, costitui-

---

[8] I cambiamenti prodotti dalle tecnologie dell'informazione sul nostro modo di pensare ci hanno condotto rapidamente a quella che Raffaele Simone (2000) indicava come la 'terza fase', quella del paradigma multimediale, individuato all'interno di un ampio ragionamento sulle 'forme di sapere che stiamo perdendo'.

[9] Riprendendo l'*Informational Structural Realism* di Floridi (Floridi, 2011) e le riflessioni di Ackoff (1989) sulla trasformazione dei dati in conoscenza, la nuvola di punti può essere definita come un 'dominio informazionale' nel quale la conoscenza non è esplicitamente strutturata, ma permane in forma latente all'interno di configurazioni spaziali e relazionali, divenendo accessibile attraverso processi di interpretazione computazionale o cognitiva. Alcune informazioni emergono con evidenza dal dato 3D come, ad esempio, i valori di riflettanza che possono dare indicazioni sulla differenza di temperatura e/o umidità (si veda ad esempio Lerones *et al*., 2016); per le altre, occorre saper porre le domande giuste.

[10] Il tema è riconducibile al fenomeno del sovraccarico informativo, oggi divenuto di grande attualità ma già discusso negli anni Settanta da Toffler (1970), quando si iniziò a riflettere sulla capacità umana di elaborare e gestire l'aumento esponenziale dei dati, resi disponibili dalle tecnologie dell'informazione.

sce il momento in cui la conoscenza si rende manifesta come atto di selezione e discretizzazione e che, ancora oggi, trova nel disegno, e in particolare nel disegno di contorno[11], una forma condivisa di espressione e trasmissione. Se il disegno architettonico ha storicamente dichiarato il proprio carattere convenzionale e interpretativo, le nuvole di punti, come accennato, sembrano invece proporre una coincidenza quasi immediata con il reale. Ma è proprio questa apparente oggettività[12] del dato 3D e la sua pretesa di rappresentazione fedele ed esaustiva della realtà che ribadisce il ruolo delle discipline del disegno nella costruzione della conoscenza. La differenza tra un'elaborazione grafica derivata dalla nuvola di punti – un modello tridimensionale, oppure una pianta, una sezione o un prospetto, anche quando conserva porzioni dell'immagine digitale acquisita – e la semplice visualizzazione della nuvola stessa è paragonabile a quella che distingue una fotografia d'autore da uno scatto estemporaneo: la prima non si limita a registrare il reale, ma esprime una scelta, un punto di vista e un'intenzione interpretativa. Analogamente il disegno[13] rende esplicite le scelte che orientano lo sguardo verso gli aspetti dell'opera ritenuti significativi e proprio per questo, l'avvento del rilievo 3D non determina il superamento delle forme di sintesi grafica, ma ne conferma la centralità[14].

Contestualmente, occorre riconoscere il valore epistemico che il dato digitale può assumere quando la sua acquisizione e strutturazione siano coerenti con gli obiettivi dell'indagine. Si può allora affermare che la nuvola di punti, di per sé, possa essere intesa anche come forma di descrizione di un bene quando la complessità e la ricchezza del dato tridimensionale vengono interpretate e rese accessibili. Investire sui processi di costruzione e condivisione delle informazioni è, per tali ragioni, importante tanto quanto le ricerche sulle modalità di acquisizione dei dati che, negli ultimi anni, hanno visto una notevole implementazione nella direzione di standard sempre più elevati di accuratezza e affidabilità.

L'obiettivo è, quindi, far sì che la costruzione della conoscenza continui a

---

[11] Con l'espressione disegno di contorno si intende, qui, il disegno descrittivo codificato e bidimensionale, un disegno lineare che descrive il limite delle forme e che richiede, quindi, una decodifica. A proposito del disegno di contorno si veda Di Napoli, 2004, p.405.

[12] Il dato 3D viene presentato spesso come 'neutro', 'oggettivo', 'scientifico'. Eppure, nessun dato è davvero neutro perché, a monte di qualsiasi acquisizione 3D, ci sono scelte sia relative alla strumentazione che alla densità della nuvola e ai relativi parametri, compresa la soglia di errore ritenuta accettabile.

[13] In questo contesto ci si riferisce ai diversi metodi di rappresentazione e alle diverse tecniche grafiche attraverso le quali il disegno può interpretare e comunicare il dato acquisito.

[14] Sul tema della qualità geometrica del modello di rilievo si vedano le riflessioni di Valenti e Martinelli (2022).

esprimersi attraverso strumenti che si rinnovano periodicamente, senza che venga meno il ruolo dell'interpretazione critica. Una sfida alla quale già nel 1925 László Moholy-Nagy (Negri, 2010, p. 17) rispondeva affermando che è «indispensabile contribuire alla costruzione del proprio tempo con i mezzi che gli sono propri», riconoscendo nelle nuove tecnologie non semplici strumenti operativi, ma dispositivi capaci di ridefinire le modalità di osservazione della realtà.

3. Archivi, memoria e obsolescenza: cosa resterà del nostro secolo?

Un nodo cruciale, spesso messo in secondo piano dall'entusiasmo per le continue innovazioni tecnologiche, riguarda la conservazione e la trasmissione, nel tempo, di ciò che produciamo. Paradossalmente, una delle promesse fondamentali della riproduzione digitale – garantire la sopravvivenza documentaria di oggetti destinati a deteriorarsi o scomparire – coincide con uno dei suoi aspetti più problematici. La copia digitale può rivelarsi più deperibile del bene stesso: informazioni e dati su luoghi, oggetti e rilievi di beni culturali ancora esistenti sono già scomparsi perché salvati in formati e/o su supporti non più leggibili. A che scopo, allora, digitalizzare se non siamo in grado di garantire la durata (e quindi la leggibilità) nel tempo di ciò che produciamo? Tutta la produzione grafica in generale, relativa a beni e monumenti ma, soprattutto i disegni prodotti in maniera più sistematica a partire dal XV secolo, costituiscono una fonte inestimabile per la conduzione di studi e ricerche. Attraverso i disegni si è potuta conservare la memoria di architetture, apparati decorativi, assetti urbani e manufatti che nei secoli successivi sono stati trasformati o distrutti (Docci & Maestri 1993, p.63). Ma il valore documentario del disegno non risiede soltanto in ciò che rappresenta: risiede anche nel modo in cui lo rappresenta. Le tecniche e le convenzioni grafiche, i supporti, gli obiettivi conoscitivi o progettuali costituiscono parte integrante del documento grafico: in un certo senso, essi possono essere considerati i suoi 'metadati storici': non informazioni esterne e accessorie, ma il presupposto indispensabile per poter interpretare correttamente la fonte.
Nell'ambito delle ricerche sul patrimonio storico-artistico e architettonico, l'individuazione dei luoghi in cui sono conservati i disegni originali costituisce oramai una prassi consolidata e rappresenta il primo livello di indagine. L'obiettivo è quello di avere un quadro conoscitivo ampio che ricomponga, almeno virtualmente, il quadro della documentazione inerente a un determinato "soggetto" o un determinato "autore", conservata in fondi privati, biblioteche, istituzioni pubbliche, ecc. A questo si affianca lo studio del documento attraverso il quale è possibile ricostruire le tecniche di esecuzione, i processi e i materiali di riproduzione, riconoscere gli strumenti utilizzati (individuando, ad esempio, i segni del compasso) e intercettare le tracce del processo progettuale, ovvero le costruzioni geometriche, le varianti e i ripensamenti. Anche negli studi più recenti sugli architetti contemporanei

(Hamburger, 2004 e International Council on Archives, 2000), la ricerca parte da una ricognizione dei luoghi in cui sono conservati disegni e documenti e prosegue con una descrizione catalografica che considera gli elaborati preparatori, gli schizzi autografi, i documenti di cantiere, la corrispondenza amministrativa, le immagini fotografiche ecc., come essenziali ai fini della comprensione dell'opera e dell'architetto.
È su questo terreno che il parallelo con il digitale diventa necessario. Se per il disegno storico sappiamo dove e come interrogare fondi e collezioni, dove si costituiscono oggi i "fondi" della produzione digitale e come possiamo individuarli?
Teoricamente, gli archivi delle Soprintendenze, delle università, degli enti di ricerca e degli Istituti culturali dovrebbero conservare i dati grezzi e gli elaborati finali prodotti in occasione di rilievi e di campagne di documentazione e avere anche la strumentazione hardware e software per poterla consultare. Tuttavia, proprio i dati grezzi vengono dispersi, rimanendo archiviati in Hard Disk esterni consegnati alle committenze, negli studi dei professionisti, delle società o delle università incaricate di eseguire i lavori. Senza i dati grezzi[15], il modello finale – la nuvola di punti frutto delle operazioni di allineamento – è apparentemente ricco ma invece è privo proprio di quelle informazioni necessarie a comprenderne origine, accuratezza, trasformazioni e limiti.
La questione, quindi, non riguarda soltanto la conservazione tecnica dei file finali, perché l'obsolescenza digitale non consiste solo nel rischio che un file non si apra più, ma che esso non sia più interpretabile perché mancano i metadati e i paradati (si veda par. 4) e non si abbia più accesso al dato grezzo originale. Al problema della obsolescenza tecnica si aggiunge, quindi, anche quello della obsolescenza semantica e d'uso, già evidenziato da Koller, Frischer e Humphreys (2009)[16], i quali sottolineavano la necessità di costruire archivi digitali stabili per i modelli 3D del patrimonio culturale, in grado di garantire nel tempo autenticità scientifica, nonché processi controllati di revisione, aggiornamento, gestione delle versioni e tutela dei diritti. A distanza di anni, il problema si pone con maggiore urgenza perché aumenta la quantità di dati digitali prodotti ma non la loro disponibilità e accessibilità. Il Data Management Plan, di cui parlano Koller, Frischer e Humphreys, diventa così uno strumento essenziale, non come adempimento burocratico, ma come disposi-

[15] Ricordiamo che con dati grezzi si intendono le nuvole non allineate, le fotografie originali, i parametri di elaborazione associati come metadati.

[16] Sullo stesso argomento si veda anche quanto scritto da Nicola Amico e Achille Felicetti (2024), i quali, relativamente alla conservazione a lungo termine dei dati 3D nel patrimonio culturale insistono proprio su questo punto: non basta effettuare un backup del modello finale; occorre preservare l'intero ciclo di vita del dato, dai dati grezzi ai file intermedi, dalle texture alle nuvole di punti, dai formati derivati alla documentazione di processo.

tivo operativo che accompagna il dato dalla produzione alla conservazione[17].
In questo quadro, dunque, è essenziale tornare sui due aspetti di cui si è parlato: quello della produzione del dato e quello della sua conservazione e condivisione.
Da una parte, riconoscere che metadati e paradati costituiscono la memoria digitale del modello ovvero che essi sono, per il dato 3D, ciò che le tracce materiali, le tecniche grafiche e il contesto archivistico sono per il disegno storico; dall'altra lavorare per fondare oggi quello che potrà diventare, domani, l'archivio digitale del patrimonio. Per fare ciò è necessario avviare una ricognizione sui dati digitali fino ad ora prodotti, cioè sui rilievi 3D del patrimonio culturale, identificando committenti e operatori, formati e supporti, software e condizioni di accesso. Condizioni che consentiranno di effettuare una ricerca d'archivio sul digitale analoga a quella che si esercita sui fondi grafici e documentari del passato.
È evidente che tali problematiche debbano essere risolte alla fonte, attraverso l'istituzione di buone pratiche da condividere in maniera trasversale, guardando anche ad alcune esperienze[18] significative già attive in Europa.
In Italia, l'avvio delle campagne della Digital Library del Ministero della Cultura per la digitalizzazione 3D e high quality di oggetti storico-artistici, archeologici e museali rappresenta un passaggio importante, soprattutto se

---

[17] In questo contesto operativo di gestione e conservazione del dato, i principi FAIR non coincidono necessariamente con l'open data, perché di fatto, anche dati non completamente aperti possono essere trovabili, accessibili secondo condizioni definite, interoperabili e riutilizzabili, se descritti attraverso metadati chiari, persistenti e affidabili (Amico & Felicetti, 2024).

[18] Il *Conservatoire National des Données 3D*, è un consorzio di enti e istituti di ricerca francesi che non si limita a promuovere l'uso del 3D nelle scienze umane, ma costruisce intorno ai dati una comunità, con guide di buone pratiche, schemi di metadati, software e infrastrutture per la conservazione e la pubblicazione a lungo termine. Il valore di questa esperienza non sta soltanto nella tecnologia, ma nella costruzione di un ecosistema scientifico capace di rendere il dato 3D riproducibile, documentato, condivisibile e riusabile. Si veda, in proposito, il saggio di Chayani, Granier, Laroche, 2025.
Su scala europea, Europeana è l'infrastruttura digitale europea per l'accesso, l'aggregazione, l'interoperabilità e il riuso del patrimonio culturale digitalizzato. Non è semplicemente una biblioteca digitale o un portale di consultazione, ma un ecosistema federato che raccoglie metadati e risorse digitali provenienti da musei, archivi, biblioteche, gallerie e istituzioni culturali europee, rendendoli ricercabili e riutilizzabili attraverso standard comuni, API e modelli semantici. Al centro del progetto vi è l'Europeana Data Model, un modello RDF/Linked Data pensato per descrivere sia l'oggetto culturale sia le sue rappresentazioni digitali. Si veda: European Commission, Europeana Foundation, *Common European Data Space for Cultural Heritage – Strategy 2025–2030*, 2026.

letto insieme al progetto I.PaC a cui è collegata la realizzazione del profilo METS ECO-MiC per la metadatazione delle risorse digitali[19]. La costruzione di un archivio nazionale, centralizzato e governato da standard comuni, può diventare una prassi decisiva solo se non si limiterà ad accumulare prodotti digitali finali, ma saprà conservare relazioni, processi, contesti, diritti, versioni e possibilità di riuso. È qui che il tema della conservazione si salda con quello dei metadati, che non sono un'aggiunta tecnica successiva alla digitalizzazione, ma la condizione perché la copia digitale possa davvero diventare memoria, fonte e patrimonio condiviso.

4. Metadati, uso e riuso: condizioni per una vera condivisione

La crescente produzione di copie digitali 3D del patrimonio culturale ha reso evidente che il loro valore non dipende soltanto dalla qualità geometrica o visiva, ma anche dalla qualità delle informazioni che li accompagnano. Analizzando i risultati di numerose ricerche, emerge tuttavia come i metodi adottati siano diversi tra loro. Questa eterogeneità produce molteplici workflow, sia nella fase di realizzazione della copia digitale, sia in quella di conservazione dei dati (attraverso infrastrutture e repository differenti) e, soprattutto, nelle modalità di metadatazione (Storeide *et al*., 2023). In tutte le fasi elencate, un ruolo centrale è attribuito ai metadati intesi come l'insieme delle informazioni che consentono di riconoscere l'oggetto in sé. Essi descrivono e contestualizzano sia il bene culturale, sia l'oggetto digitale che lo 'rappresenta'. Nel corso del tempo, ai metadati sono stati affiancati i paradati che descrivono il processo (Couper, 2000) e il modo in cui i dati grezzi sono stati elaborati per produrre la copia digitale (Baker, 2025) e che la rendono realmente FAIR (riutilizzabile, verificabile e interoperabile).
Ma per restituire il senso e la complessità di un bene culturale e della sua copia digitale, diversi studiosi propongono di superare la nozione di copia digitale (*digital twin*) e orientarsi verso quella di *memory twin* (Ioannides *et al*., 2025). Ciò implica l'integrazione di una varietà più ampia di metadati e paradati, capaci di includere sia gli aspetti tecnici e descrittivi, sia le informazioni contestuali e culturali che concorrono alla costruzione della memoria dell'oggetto digitale (Cassar, 2026). Ed è in questo contesto operativo che emergono i limiti intrinseci di qualsiasi schema di metadatazione rigido e

[19] Le campagne di digitalizzazione 3D degli oggetti storico-artistici, archeologici e museali avviate dal MiC con apposite gare nell'aprile del 2025, sono state accompagnate da linee guida (Ministero della Cultura, 2025) e dalla realizzazione di uno standard di metadatazione: il METS ECO-MiC. Il METS è un profilo applicativo per la metadatazione delle risorse digitali relative ai beni culturali del Ministero della Cultura, per maggiori informazioni si veda il repository GitHub: https://github.com/icdp-digital-library/profilo-mets-ecomic/tree/main.

predeterminato: la descrizione, infatti, non dipende esclusivamente da ciò che viene raccolto come dato, ma anche dalle modalità attraverso cui tale dato viene prodotto e documentato (Huvila, 2026). Relativamente ai paradati, quelli generati mediante domande strutturate rispondono in modo più efficace alle esigenze di interoperabilità tecnica; quelli prodotti attraverso forme narrative consentono invece di restituire con maggiore profondità i contesti che accompagnano il bene culturale e la produzione della sua copia digitale.

Il panorama offerto dagli articoli scientifici sul tema di metadati e paradati mostra chiaramente che la ricerca di uno standard unico sarebbe di difficile attuazione e alcuni studi suggeriscono l'introduzione di uno standard minimo, accompagnato da una serie di moduli facoltativi. Il modello di dati diventa così composto da un nucleo documentario minimo a cui si aggiungono altre informazioni che dipendono dal dominio disciplinare e dal tipo di oggetto (Bajena, 2026).

Uno spunto molto interessante relativamente alla raccolta di importanti metadati tecnici è contenuto nel progetto IPaC avviato dal Ministero della Cultura. Il progetto nasce per la catalogazione e gestione delle copie digitali dei beni culturali e propone una descrizione dei modelli 3D che viene tradotta in una struttura XML necessaria per il conferimento dei dati. Qui troviamo campi relativi al formato dei file, alle strutture multi-file, alla geometria, al numero di vertici e facce, all'orientamento degli assi, e, soprattutto, alle informazioni sui materiali e sulle texture. La sezione *materialInformation* è particolarmente rilevante perché consente di descrivere materiali associati alla mesh, la tipologia della texture e riferimenti ai file collegati. Questa componente risulta decisiva perché molte copie digitali 3D non sono costituite da un solo file, ma da un insieme di texture e materiali. La loro descrizione diventa quindi parte integrante del processo di conservazione e di riuso.

Alla luce degli studi più recenti si può, dunque, affermare che, quando la metadatazione si arricchisce e si evolve, modifica anche la propria natura e funzione. Da strumento minimo di supporto alla navigazione e al reperimento delle informazioni, diventa una componente strutturale capace di trasformare una raccolta di copie digitali di beni culturali in un vero e proprio ambiente di ricerca. Nell'esperienza delle *Digital Collections* (Callieri *et al.*, 2025) la piattaforma nasce inizialmente come archivio 3D finalizzato a rendere accessibili e consultabili le repliche digitali di reperti archeologici; progressivamente, tuttavia, essa diventa uno spazio di interazione, annotazione e confronto, utile ai fini della produzione di nuove interpretazioni. In questo passaggio, i metadati non possono più limitarsi a descrivere il modello digitale o a consentirne il filtraggio, ma devono assumere una struttura più articolata, semanticamente organizzata e funzionale alla costruzione di nuovi percorsi conoscitivi.

Pertanto, l'orizzonte della ricerca non dovrebbe consistere nella costruzione di un insieme di metadati e paradati valido indistintamente per tutti i contesti in cui le copie digitali del patrimonio culturale entrano in uso. Un model-

lo di questo tipo rischierebbe, infatti, di risultare inadeguato proprio perché pensato come soluzione generale: in alcuni casi imporrebbe una struttura troppo rigida, in altri resterebbe troppo generico. La questione, quindi, non è scrivere un testo uguale per tutti, cioè una scheda prestabilita da compilare sempre nello stesso modo, ma condividere un vocabolario comune. Su questa base, ciascun progetto dovrebbe poter costruire il proprio testo documentario, secondo le proprie finalità, senza rinunciare a un linguaggio entro cui i dati possano essere riconosciuti e messi in relazione.
La distinzione tra testo e vocabolario consente di superare la contrapposizione, che di fatto è solo apparente, tra una standardizzazione troppo rigida e una descrizione lasciata alla piena discrezionalità dei singoli progetti. L'obiettivo non dovrebbe essere quello di imporre a tutti la stessa sequenza di campi, ma di mettere a disposizione una base concettuale condivisa, entro cui ogni progetto possa scegliere il livello di dettaglio più adatto alle proprie finalità[20]. In questo senso, il riferimento più solido è costituito dal CIDOC CRM e dalla sua estensione CRMdig[21], che offrono un quadro formale per descrivere il rapporto tra il bene materiale, la sua rappresentazione digitale e i processi attraverso cui essa viene prodotta. CRMdig risulta particolarmente utile perché permette di organizzare la digitalizzazione come una sequenza di eventi documentabili, nella quale intervengono strumenti, software, operazioni tecniche e passaggi di trasformazione dei dati. Tuttavia, proprio in quanto modello generale, esso non esaurisce da solo la complessità specifica delle copie digitali 3D del patrimonio culturale.
Con l'obiettivo di rispondere all'esigenza di rappresentare in forma semantica il rapporto tra il modello digitale, le sue parti costitutive e ciò a cui esse rimandano, sia esso un elemento esistente, ricostruito o soltanto ipotizzato, è nata l'ontologia OntPreHer3D (Bajena, 2025), proposta come estensione del CIDOC CRM per la conservazione dei modelli 3D del patrimonio culturale. Il suo interesse risiede nel fatto che la documentazione del modello non viene ridotta alla sola identificazione del file, ma viene estesa al processo conoscitivo che ne ha determinato la costruzione. Diventa quindi necessario esplicitare quali aspetti del bene siano stati modellati, a partire da quali fonti e attraverso quali scelte interpretative. Risulta inoltre centrale rendere documentabile il grado di incertezza che accompagna queste scelte, affinché il contenuto del modello possa essere valutato e, se necessario, ricostruito anche in presenza di perdita o obsolescenza del dato digitale. OntPreHer3D risponde quindi a una parte essenziale del problema, perché consente di descrivere il modello 3D come esito di una catena interpretativa e non soltanto come derivato tecnico. Proprio per questa ragione, tuttavia, non può essere assunta come soluzione

[20] Si veda in proposito anche quanto riportato in ICCD 2025.
[21] CIDOC CRMdig, versione 5.0, estensione del CIDOC CRM per la documentazione dei processi digitali e delle misurazioni digitali, intese come eventi nel tempo.

autosufficiente, ma deve essere collocata all'interno di una rete documentaria più ampia. Le sue articolazioni dedicate al modello e alle sue parti permettono di distinguere con maggiore precisione il livello della rappresentazione digitale da quello del bene rappresentato, sia esso reale o ipotetico. Altra cosa però è documentare in modo adeguato la fase di acquisizione, le caratteristiche degli strumenti impiegati e le trasformazioni successive del dato, per farlo è necessario ricorrere anche a modelli più vicini alla pratica della digitalizzazione tridimensionale.

Su questo aspetto risponde in modo particolarmente efficace l'ontologia "Mainzed Objects Ontology for 3D Capturing and Processing Metadata" (Homburg *et al*., 2021). Il loro lavoro affronta il problema della descrizione tecnica dell'acquisizione e delle successive fasi di elaborazione digitale degli oggetti 3D, tenendo conto delle diverse metodologie solitamente impiegate. L'aspetto più rilevante di questo approccio consiste nel considerare la qualità del modello non solo in relazione al bene rappresentato, ma anche alle condizioni concrete in cui il dato viene prodotto. Entrano così nella documentazione strumenti, software utilizzati e le trasformazioni che conducono dal dato grezzo al modello elaborato. In questo modo, l'attenzione si sposta dalla sola descrizione del bene culturale alla valutazione della qualità tecnica del dato 3D e della sua adeguatezza rispetto agli usi previsti.

La convergenza fra CIDOC CRM, CRMdig, OntPreHer3D e l'ontologia Mainzed permetterebbe quindi di costruire una rete concettuale ampia: da un lato il bene culturale, il suo contesto, le sue fonti e le sue interpretazioni; dall'altro il modello digitale, le sue componenti, le sue trasformazioni, i processi di acquisizione, i suoi parametri tecnici e le sue condizioni di affidabilità. Questa rete, però, non può funzionare pienamente senza vocabolari condivisi. Su questo specifico tema, i Getty Vocabularies (Harpring, 2010), e in particolare, l'Art & Architecture Thesaurus, costituiscono uno dei riferimenti più autorevoli e internazionalmente utilizzati per normalizzare la descrizione di beni, materiali, tecniche, funzioni, stili, ruoli e contesti storico-artistici. Essi non risolvono da soli il problema della terminologia tecnica specifica del 3D, ma offrono una base estremamente utile per ancorare la descrizione delle copie digitali a un lessico storico-artistico, architettonico e materiale condiviso. Il problema, quindi, non è scegliere fra ontologie e vocabolari, ma integrare le une con gli altri: le ontologie definiscono la struttura logica della descrizione, i vocabolari controllati ne qualificano i contenuti.

Ne deriva una conclusione metodologica: lo sforzo più produttivo non consiste nel definire un set unico, obbligatorio e onnicomprensivo di metadati e paradati. Una simile soluzione rischierebbe di essere astratta o inadeguata rispetto alla pluralità dei contesti. L'obiettivo dovrebbe essere invece la costruzione di una base semantica comune, fondata su ontologie esistenti, vocabolari controllati autorevoli e schemi tecnici interoperabili. Ogni infrastruttura e ogni progetto potrebbero, quindi, costruire il proprio "testo" documentario, selezionando i concetti necessari, ma all'interno di una cornice condivisa.

Il compito della standardizzazione non è dunque congelare la complessità in

una scheda unica, ma renderla componibile entro un sistema capace di mantenere continuità semantica tra descrizioni diverse. In questa direzione si colloca anche il nuovo Sistema del Catalogo Nazionale (Magnani, 2025), che supera l'idea della scheda come tracciato disciplinare chiuso e introduce un modello più flessibile, fondato su una struttura modulare e sull'uso di ontologie e vocabolari controllati. In questo progetto il bene viene così identificato attraverso un nucleo descrittivo essenziale, sufficiente a definirne la cornice di senso, mentre ulteriori livelli informativi possono essere aggiunti in funzione della natura dell'oggetto e delle finalità della catalogazione. Questa impostazione appare particolarmente adatta alla descrizione delle copie digitali 3D: i metadati necessari a riconoscere il bene e a collocarlo nel sistema del patrimonio possono essere organizzati come suggerito dal Catalogo, mentre i paradati relativi alla produzione tecnica e interpretativa del modello richiedono che l'ontologia venga estesa attraverso modelli specifici, come quelli richiamati in precedenza. In questo modo la descrizione non sarebbe più un contenitore rigido, ma il risultato di una composizione controllata nella quale ogni progetto può costruire il proprio testo documentario a partire da un vocabolario comune.

5. Intelligenza artificiale e automazione: chi resta autore delle domande?

Negli ultimi dieci anni le capacità dell'intelligenza artificiale, del machine learning e del deep learning applicate all'analisi dei dati 3D hanno conosciuto una notevole accelerazione. L'aumento esponenziale della quantità di dati prodotti ha favorito l'estensione dell'impiego dell'AI anche all'intero processo di rilievo 3D. Non più limitata alle fasi finali di elaborazione e produzione del modello, l'AI interviene oggi anche nelle fasi preliminari e intermedie di acquisizione, organizzazione e trattamento dei dati, contribuendo alla gestione di insiemi informativi sempre più estesi, densi e complessi. In questo contesto si colloca il tema della semantica nella fotogrammetria: l'intelligenza artificiale può contribuire al riconoscimento delle feature, al matching tra immagini, all'orientamento SfM, alla classificazione degli elementi e alla proiezione di etichette 2D su point cloud 3D. Il processo fotogrammetrico integra la semantica associando alla ricostruzione spaziale una prima forma di riconoscimento e organizzazione del contenuto informativo (Grilli *et al.*, 2019). Uno dei campi di applicazione più significativi, soprattutto in relazione al problema del sovraccarico informativo, riguarda la segmentazione automatica delle point cloud. L'obiettivo è trasformare masse di dati difficilmente governabili in strutture interpretabili: muri, colonne, archi, volte, aperture, coperture, elementi decorativi. I framework di deep learning applicati alla segmentazione semantica delle point cloud consentono di riconoscere e distinguere automaticamente parti architettoniche e componenti significative del patrimonio culturale (Pierdicca *et al.*, 2020; Russo *et al.*, 2026). Le point cloud semanticamente arricchite possono inoltre diventare la base per processi semiautomatici di Herita-

ge-BIM, nei quali il dato tridimensionale non è soltanto rappresentazione geometrica, ma supporto alla modellazione informativa dell'edificio storico (Croce *et al.*, 2021). Anche la fotogrammetria close-range può essere orientata verso la produzione di point cloud semanticamente ricche, nelle quali la dimensione metrica e quella classificatoria tendono a integrarsi (Murtiyoso *et al.*, 2022).
Il tema diventa però più delicato quando l'automazione non si limita a classificare o segmentare il dato acquisito, ma interviene nel completamento di ciò che manca. Point cloud incomplete, zone occluse, dati rumorosi, parti non rilevate o difficilmente accessibili aprono il campo a tecniche di point cloud completion e modelli generativi. Le tecniche di completamento delle point cloud basate su deep learning permettono di ricostruire parti mancanti o degradate del dato tridimensionale, ma introducono anche una soglia critica tra osservazione, interpolazione e inferenza (Fei *et al.*, 2022). Nel settore dei beni culturali questa possibilità richiede particolare cautela: l'AI può aiutare a ipotizzare, integrare, visualizzare o proporre ricostruzioni, ma è necessario distinguere sempre tra dato misurato, dato interpolato e dato inferito. La ricostruzione virtuale, soprattutto quando riguarda siti archeologici o architetture lacunose, deve quindi essere guidata da una strategia progettuale consapevole, capace di rendere esplicito il passaggio tra documentazione, interpretazione e integrazione ipotetica (Liu *et al.*, 2026).
Questa distinzione diventa ancora più urgente con la diffusione di modelli capaci di generare oggetti 3D a partire da una o poche immagini. Le tecniche di single-image 3D reconstruction consentono oggi di produrre rapidamente mesh texturizzate a partire da un input visivo minimo, con risultati spesso molto efficaci sul piano percettivo e comunicativo (Xu *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2024). Nel campo dei beni culturali, questi strumenti possono aprire possibilità interessanti per la visualizzazione, la divulgazione, la comparazione morfologica preliminare e la ricostruzione di oggetti non facilmente acquisibili. Tuttavia, proprio perché la qualità visiva può essere elevata, diventa necessario disporre di criteri di valutazione capaci di distinguere accuratezza metrica, fedeltà visiva, coerenza morfologica e attendibilità documentaria (Balloni *et al.*, 2025). Anche quando l'applicazione a specifiche classi di manufatti, come le ceramiche dipinte, mostra risultati promettenti nella ricostruzione tridimensionale da singola immagine, resta fondamentale non confonderla con il modello generato da un rilievo metrico o da una scansione 3D scientificamente controllata (Wang *et al.*, 2025). Un modello plausibile non sempre è un modello con una sua precisione metrica; una texture coerente con l'oggetto rilevato non è una texture documentaria; una parte ricostruita non ha lo stesso valore documentale di una parte rilevata.
Da qui emerge il punto centrale. L'AI può segmentare, riconoscere, classificare, catalogare e perfino completare. Può leggere i dati 3D e restituire strutture ordinate, individuare pattern, proporre associazioni, suggerire categorie. Tuttavia, queste capacità della macchina si esercitano prevalentemente su ciò che è già stato definito come oggetto di attenzione: classi da riconoscere, elementi da segmentare, anomalie da individuare, lacune da colmare. La ri-

cerca archeologica, architettonica e storico-artistica, invece, non consiste solo nell'applicare categorie già stabilite, ma anche nello scoprire connessioni non ancora note, nel costruire parallelismi tra oggetti, tecniche e materiali mai confrontati, nel decidere cosa porre al centro dell'indagine. L'AI generativa appare oggi soprattutto come un dispositivo di risposta mentre molto più problematico è attribuirle il ruolo di autentica autrice delle domande, perché l'AI è capace di autonomia operativa ma non possiede ciò che rende una domanda culturalmente significativa: urgenza, esperienza e interesse per il problema (Floridi, 2023). Decidere quali pattern cercare, quali oggetti riconoscere, quali anomalie considerare significative rimane un'operazione profondamente umana, disciplinare e interpretativa. Infatti, anche quando l'AI generativa viene inserita nei processi di produzione della conoscenza, richiede soggetti capaci di interrogare e verificare. Inoltre, quando viene integrata stabilmente nei processi di lavoro, non è comunque possibile attribuirle una autorevolezza che, di fatto, non possiede (Ashuri *et al.*, 2026).

Un ulteriore elemento da considerare nell'uso della AI riguarda il rapporto tra produzione linguistica e comprensione. I grandi modelli linguistici possono combinare forme linguistiche osservate nei dati e generare enunciati plausibili, coerenti e spesso convincenti, ma questo non implica, necessariamente, che tale capacità derivi da una comprensione del significato. La macchina può generare risposte articolate e persino formulare domande plausibili, ma non abita il problema da cui quelle domande dovrebbero nascere (Bender *et al.*, 2021). La differenza tra modelli generativi e mente umana può essere precisata anche richiamando le modalità di acquisizione delle conoscenze. I sistemi generativi lavorano prevedendo pattern nei dati e, in questo, possono presentare una certa analogia funzionale con alcuni modelli predittivi della mente; ma essi lavorano su dati e correlazioni, senza bisogni vitali, responsabilità o esperienze. Gli esseri umani, invece, sono orientati all'azione, immersi in rapporti causali con il mondo e imparano attraverso l'esperienza, la memoria e le relazioni sociali. Tuttavia, grazie alle sue indiscutibili capacità, l'AI può diventare uno strumento fondamentale per affrontare la crescente complessità dei dati digitali.

Ma proprio perché la domanda umana non è solo calcolo ma nasce dalla esperienza del mondo (Clark, 2024), è necessario conservare la capacità di formulare le domande decisive e di interpretare criticamente le risposte. Nell'ambito del rilievo 3D del patrimonio, ciò richiama alla necessità che sia chi studia il bene sia chi ne realizza la copia digitale possiedano conoscenze approfondite, e non generiche o meramente tecniche, del contesto e della storia materiale del bene e delle ragioni che ne motivano la documentazione. Ed è nello spazio dell'interazione tra competenze tecniche e interpretazione storico-critica che si genera conoscenza: è qui che rimane centrale la responsabilità di un approccio umano consapevole, capace di attribuire significato ai dati e orientare le scelte inerenti alla loro restituzione.

Conclusioni

Le riflessioni sviluppate conducono a una considerazione di fondo: la documentazione 3D del patrimonio culturale non può essere intesa come semplice incremento tecnico della capacità di registrare il reale. La maggiore densità del dato, la precisione metrica, la qualità visuale dei modelli e la possibilità di interrogare una copia digitale nel tempo, costituiscono certamente un avanzamento decisivo rispetto alle forme tradizionali di documentazione del patrimonio. Tuttavia, la copia digitale non è conoscenza in sé, ma una condizione di possibilità della conoscenza.
Ciò che resterà del nostro secolo non dipenderà soltanto dalla quantità di dati che avremo prodotto, né dalla precisione dei modelli o dalla potenza degli algoritmi utilizzati. Dipenderà soprattutto dalla capacità di rendere quei dati comprensibili, verificabili, riusabili e criticamente interpretabili. Solo così la documentazione 3D potrà davvero diventare parte della memoria del patrimonio culturale: non una replica muta del reale, ma una fonte viva, capace di trasmettere la forma dei beni, ma anche le domande e le scelte attraverso cui essi sono stati conosciuti e rappresentati.
In definitiva, non basta chiedersi come e quanto digitalizziamo il patrimonio culturale: occorre interrogarsi sul tipo di memoria che, attraverso queste pratiche, stiamo costruendo.

Riferimenti bibliografici

Ackoff, R. L. (1989). From data to wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis, 16*, 3-9.

Amico, N., & Felicetti, A. (2024). 3D Data Long-Term Preservation in Cultural Heritage. *arXiv e-prints, arXiv-2409.*

Ashuri, T., Zalmanson, L., & Goldstein, D. (2026). Journalistic epistemic authority in the age of AI: The incorporation of generative AI in newsrooms. *Digital Journalism*, pp. 1-20.

Bajena, I. P. (2025). OntPreHer3D: ontology for preservation of cultural heritage 3D models. *Peer Community Journal, 5*, Article XX.

Bajena, I. P. (2026). Developing the core data model for 3D: Exploring metadata and paradata throughout current 3D infrastructure projects. In M. Ioannides, E. Fink, J. Anderson, A. Fresa, A. Cassar, & S. Munster (eds.). *3D Research Challenges in Cultural Heritage VI, DigitalTwin versus MemoryTwin,* pp. 89-101. Springer.

Baker, D. (2025). Paradata: The Digital Prometheus, in M. Ioannides, D. Baker, A. Agapiou, P. Siegkas, (eds.), *3D Research Challenges in Cultural Heritage V. Paradata, Metadata and Data in Digitisation*, pp.12-23. Springer.

Balloni, E., Paolanti, M., Uggeri, J., Zingaretti, P., Pierdicca, R., Campana, S., Ferdani, D., Graf, H., Guidi, G., Hegarty, Z., Pescarin, S., & Remondino, F. (2025). Enhancing cultural heritage with generative AI: A comparative framework for the evaluation of 3D model accuracy and visual fidelity. In S. Campana, D. Ferdani, H. Graf, G. Guidi, Z. Hegarty, S. Pescarin, F. Remondino (Eds.), *Digital heritage 2025: Proceedings of the 10th International Conference on Digital Heritage*. Eurographics Association.

Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, M. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? In *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, pp. 610-623. Association for Computing Machinery. Bianchini, C. (2025). La forma delle nuvole (di punti). *TRIBELON*, II, 2025, 4, pp. 16-25.

Canciani, M., & Saccone, M. (2011). The Use of 3d Models in Integrated Survey: the Church of St. Thomas of Villanova in Castel Gandolfo. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-5/W16, pp. 591-597.

Callieri, M., Berggren, Å., Dell'Unto, N., Derudas, P., Dininno, D., Ekengren, F., & Naponiello, G. (2025). The Dynamic Collections – a 3D web platform of archaeological artefacts designed for data reuse and deep interaction. In J. W. H. P. Verhagen, J. Waagen, A. Brandsen, A. Queffelec, R. M. Visser, & D. Taelman (eds.), *Advances in digital archaeology: Proceedings of the 2023 conference Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology – 50 years of synergy*, pp. 87-96. Sidestone Press.

Carrol, L., *Sylvie and Bruno*, 1893, p. 393 chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.jellby.altervista.org/ebooks/SylvieBruno-ss.pdf).

Cassar, A. (2026). Paradata, Metadata, and Data in the Digitisation of Cultural Heritage: A Memory Twin Perspective. In M. Ioannides, E. Fink, J. Anderson, A. Fresa, A. Cassar, S. Munster (eds.). *3D Research Challenges in Cultural Heritage VI, DigitalTwin versus MemoryTwin,* pp. 1-14. Springer.

Chayani, M., Granier,X., & Laroche, F. (2025). 3D Data Practices and Preservation for Humanities: A Decade of the Consortium '3D for Digital Humanities', *Heritage*, 8(10), 435.

Clark, A. (2024, January 5). *What generative AI reveals about the human mind*. TIME. https://time.com/6552233/generative-ai-reveals-human-mind/

Couper, M.P. (2000). Usability evaluation of computer-assisted survey instruments. *Soc. Sci. Comput. Rev.* 18(4), pp. 384-396.

Croce, V., Caroti, G., De Luca, L., Jacquot, K., Piemonte, A., & Véron, P.

(2021). *From the semantic point cloud to heritage-building information modeling: A semiautomatic approach exploiting machine learning. Remote Sensing, 13*(3), 461.

Docci, M., & Maestri, D. (1993). *Storia del rilevamento architettonico e urbano.* Roma: Laterza.

Di Napoli, G. (2004). *Disegnare e conoscere*, Torino: Einaudi.

Fei, B., Yang, W., Chen, W. M., Li, Z., Li, Y., Ma, T., Hu, X., & Ma, L. (2022). Comprehensive review of deep learning-based 3D point cloud completion processing and analysis. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23*(12), pp. 22862-22883.

Floridi, L. (2011). A Defence of Informational Structural Realism. In L. Floridi, *The philosophy of information*, pp. 339-371. Oxford University Press.

Floridi, L. (2023). *The ethics of artificial intelligence: Principles, challenges, and opportunities.* Oxford University Press.

Grilli, E., Özdemir, E., & Remondino, F. (2019). Application of machine and deep learning strategies for the classification of heritage point clouds. T*he International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, pp. 447-454.

Hamburger, S. *Architectural Records: Arrangement, Description, and Preservation*, Mid-Atlantic Regional Archives Conference, Technical Leaflet Series, n. 11, 2004.

Harpring, P. (2010). Development of the Getty vocabularies: AAT, TGN, ULAN, and CONA. *Art Documentation: Journal of the Art Libraries Society of North America, 29*(1), pp. 67-72.

Homburg, T., Cramer, A., Raddatz, L., & Mara, H. (2021). Metadata schema and ontology for capturing and processing of 3D cultural heritage objects. *Heritage Science, 9*(1), 91.

Huvila, I. (2026). Generating Paradata by Asking Questions or Telling Stories, in *3D Research Challenges in Cultural Heritage VI*. In M. Ioannides, E. Fink, J. Anderson, A. Fresa, A. Cassar, & S. Munster (eds.). *3D Research Challenges in Cultural Heritage VI*, *DigitalTwin versus MemoryTwin,* pp.15-24. Springer.

ICCD Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione. (2025). *Ereditare le cose. Il nuovo Sistema del Catalogo Nazionale come rete della conoscenza: Atti della giornata di studio del 27 febbraio 2025.*

International Council on Archives, Architectural Records Section. (2000). *A Guide to the Archival Care of Architectural Records: 19th–20th Centuries.* Paris: ICA.

Ioannides, M., Baker, D., Agapiou, A., & Siegkas, P. (eds.). (2025). *3D research challenges in cultural heritage VI: Digital twin versus memory twin*. Springer.

Koller, D., Frischer, B., & Humphreys, G. (2009). Research Challenges for Digital Archives of 3D Cultural Heritage Models. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 2 (3), pp. 7-17.

Lerones, P. M., Olmedo Vélez, D., Gayubo Rojo, F., Gómez-García-Bermejo, J., & Zalama Casanova, E. (2016). Moisture detection in heritage buildings by 3D laser scanning. *Studies in conservation*, 2016, 61.sup1, pp. 46-54.

Liu, J., Yang, Y., Dan, Z., Zhuo, Y., & Yan, Z. (2026). Virtual reconstruction design strategy for the Suoyang city site. *npj Heritage Science*, 14(1).

Magnani, F. (2025). Verso il nuovo Sistema del Catalogo Nazionale. In *Ereditare le cose. Il nuovo Sistema del Catalogo Nazionale come rete della conoscenza: Atti della giornata di studio del 27 febbraio 2025*. Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD).

Ministero della Cultura, Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale – Digital Library. (2025). Linee guida per la digitalizzazione 3D: Beni storico-artistici e museali. Piano nazionale di digitalizzazione del patrimonio culturale. (PDF)

Moro, L. (2026). *Patrimonio culturale digitale. Teorie e prospettive*. Roma: Carocci editore.

Murtiyoso, A., Pellis, E., Grussenmeyer, P., Landes, T., & Masiero, A. (2022). Towards semantic photogrammetry: generating semantically rich point clouds from architectural close-range photogrammetry. *Sensors, 22*(3), 966.

Negri, A. a cura di. (2010). László Moholy-Nagy, *Pittura Fotografia Film*. Milano: Scalpendi editore.

Pierdicca, R., Paolanti, M., Matrone, F., Martini, M., Morbidoni, C., Malinverni, E. S., Frontoni, E., & Lingua, A. M. (2020). *Point cloud semantic segmentation using a deep learning framework for cultural heritage. Remote Sensing, 12*(6), 1005.

Russo, M., Pupi, E., Flenghi, G., & Spallone, R. (2026). AI-driven adaptive photogrammetry for built heritage information modelling. In J. Valente de Oliveira, P. Novais, G. A. Papadopoulos, M. N. Moreno, P. Chountas (eds.), *Progress in artificial intelligence: 24th EPIA Conference on Artificial Intelligence, EPIA 2025, Faro, Portugal, October 1–3, 2025, Proceedings, Part I*, pp. 109-122. Springer.

Simone, R. (2000). *La terza fase. Forme di sapere che stiamo perdendo*, Bari: Laterza.

Storeide, M. S. B., George, S., Sole, A., & Hardeberg, J. Y. (2023). Standardization of digitized heritage: A review of implementations of 3D in cultural heritage. *Heritage Science*, *11*, 249.

Toffler, A. (1970). *Future Shock*. New York: Random House. (consultabile in https://www.bdl.servizirl.it/bdl/bookreader/index.html?path=fe&cdOggetto=29674#page/270/mode/2up).

Valenti, G.M., & Martinelli, A. (2022). Sulla qualità geometrica del modello di rilievo/On the geometric quality of the survey model. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting.*

Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers. FrancoAngeli, pp. 2937-2952.

Wang, Z., Wang, Y., Chen, Y., Xiang, C., Chen, S., Yu, D., Li, C., Su, H., Zhu, J. (2024). Crm: Single image to 3d textured mesh with convolutional reconstruction model. In *European conference on computer vision*, pp. 57-74. Springer.

Xu, J., Cheng, W., Gao, Y., Wang, X., Gao, S., Shan, Y. (2024). InstantMesh: Efficient 3D mesh generation from a single image with sparse-view large reconstruction models [Preprint]. *arXiv.*

Wang, Y., Cui, H., Du, J., Di, H., Yan, L., Xu, F., Cui, K., Tu, D. (2025). Single-image 3D reconstruction of painted potteries using AI diffusion and feedforward models. *npj Heritage Science*, 13(1), 545.

1.

Digitalizzazione 3D.
Stato dell’arte e prospettive future

Introduzione

Carla Masetti

La digitalizzazione tridimensionale del patrimonio culturale non può più essere interpretata come un insieme di pratiche sperimentali isolate, né come una mera evoluzione tecnologica dei tradizionali strumenti di documentazione. Essa rappresenta oggi un vero e proprio cambiamento di paradigma, che investe simultaneamente le modalità di produzione della conoscenza, le strutture organizzative delle istituzioni, le competenze professionali e i modelli di fruizione pubblica.

I contributi raccolti in questa sezione restituiscono con chiarezza questo scenario articolato, offrendo un panorama significativo dello *stato dell'arte* della digitalizzazione 3D in Italia, osservato da tre prospettive complementari: quella istituzionale, quella formativa e quella operativa.

Il primo sguardo è quello dell'amministrazione centrale che si delinea, in particolare, attraverso l'intervista a Laura Moro, dirigente del Ministero della Cultura presso il Dipartimento per la tutela del patrimonio culturale. In questo ambito, la digitalizzazione 3D viene inquadrata non come un'innovazione episodica, ma come un processo strutturale che esige una governance rigorosa, una pianificazione strategica e una sostenibilità di lungo periodo. In particolare, le riflessioni di Laura Moro mettono in evidenza un nodo cruciale che merita una particolare attenzione. Negli ultimi vent'anni è stato prodotto un enorme patrimonio di dati tridimensionali, spesso generato in modo frammentario, senza una regia unitaria, in assenza di standard condivisi e di infrastrutture idonee a garantirne la conservazione, l'accessibilità e il riuso. Il contributo sposta il focus dalla produzione dei modelli alla loro funzione strategica. Il problema non è più *come* digitalizzare, ma *perché*, *per chi* e *con quali* ricadute. La distinzione tra *repository* di dati grezzi, archivi di modelli elaborati, strumenti di visualizzazione, sistemi semantici e ambienti di gestione dei gemelli digitali (*digital twins*) restituisce una visione matura del 3D, considerandoli non come output, ma come parte di un ecosistema informativo multilivello. In questa prospettiva, il modello tridimensionale smette di essere

un oggetto autosufficiente e diventa un nodo attivo in una rete di relazioni tra dati, contesti e processi decisionali, in cui l'utente deve essere collocato al centro e guidato verso la risoluzione di problemi concreti.
Se il contributo di Laura Moro delinea lo stato dell'arte della governance e delle infrastrutture, l'analisi di Elena Pelosi sposta l'attenzione sulle dimensioni umane e organizzative della trasformazione digitale. Attraverso l'esperienza del progetto *Dicolab. Cultura al digitale* (realizzato dalla Scuola nazionale del patrimonio e delle attività culturali e promosso dal Ministero della Cultura – Digital Library) e della mappa interattiva *SHARE - Pratiche di cultura al digitale* (cuore dell'iniziativa Dicolab), la digitalizzazione del patrimonio culturale italiano (librario, archivistico, artistico, ecc.) viene letta come un fenomeno che produce valore solo se accompagnato da percorsi di formazione, da esperienze di "comunità di pratica" e attraverso processi di apprendimento continuo. In tal senso, la visione della Scuola nazionale del patrimonio e delle attività culturali introduce il punto cruciale dell'intrinseca non neutralità delle tecnologie e dell'insufficienza degli strumenti tecnici se privi di solidi substrati culturali (pensiero critico, problem solving, comunicazione). Nel contesto della digitalizzazione 3D, è necessario riconoscere che la qualità di un modello non dipende esclusivamente dalla sua risoluzione geometrica o dalla fedeltà cromatica, ma dalla capacità delle organizzazioni di integrarlo nei propri processi, di interpretarlo criticamente, di condividerlo e di farlo evolvere nel tempo. Il concetto di "comunità di pratica" assume dunque un ruolo centrale, dato che la maturità del settore non va misurata sulla base di strumenti disponibili, quanto piuttosto dalla capacità di costruire reti di competenze, linguaggi condivisi e modalità collaborative di produzione della conoscenza. Questa dimensione sociale e partecipativa apre a una trasformazione profonda del rapporto tra istituzioni e pubblico. La digitalizzazione 3D dunque non è più solo un dispositivo di accesso, ma può diventare uno strumento di co-creazione, di cittadinanza attiva e di riuso creativo dei dati culturali. In questa prospettiva, il modello tridimensionale non è un punto di arrivo, ma un oggetto aperto, rinegoziabile, in continua trasformazione.
Il contributo di Valentina Rossetti, Giovanni Pescarmona e Lidia Fiorini si colloca a cavallo tra i due livelli precedenti (istituzionale e operativo), mettendo in luce il ruolo strategico della *Digital Library* nel coordinamento di progetti di digitalizzazione nell'ambito del PNRR Cultura 4.0. Viene qui proposta una sistematizzazione teorica e metodologica del presente e del futuro della digitalizzazione 3D, con particolare riferimento al concetto del *Digital Twin*, all'interno del quale il 3D viene esplicitamente definito come una infrastruttura cognitiva, capace di integrare in un'unica struttura informativa sia dati geometrici e materici, che storici, diagnostici e gestionali. L'attenzione si sposta, inoltre, dalla fase di acquisizione a quella di gestione del "ciclo di vita dei dati", e che comprende la progettazione, la validazione, la conservazione, l'interoperabilità, e l'aggiornamento. Le linee guida promosse dalla Digital Library e l'adozione dei principi FAIR non rappresentano semplici raccomandazioni tecniche, ma segnano un passaggio culturale decisivo:

il modello 3D viene trattato come un documento, dotato di una propria genealogia, di una tracciabilità e di un valore probatorio. Dalla lettura del contributo risulta, infine, decisiva la distinzione metodologica tra beni mobili e patrimonio costruito, un passo necessario che consente di superare l'approccio indifferenziato che ha caratterizzato molte esperienze del passato. Nel caso di architetture e di siti archeologici, la complessità dei dati e la necessità di un aggiornamento costante impongono di concepire il 3D come un sistema dinamico. Integrando georeferenziazione e fonti eterogenee esso diventa uno strumento operativo, oggi indispensabile per la gestione, la manutenzione e la prevenzione del rischio.

Concludono la sezione Valeria Carioti e Fabrizio Fuoco, che con il loro saggio offrono uno sguardo sul versante più sperimentale e applicativo della digitalizzazione 3D, osservata dal punto di vista delle imprese creative e dei progetti di innovazione culturale. Analizzando l'esperienza di DIGI-CULT CAMP (T*hink and live DIGItal with CULTural heritage training CAMP*) e il framework MINERVA, gli autori mostrano come l'adozione di tecnologie immersive, di *Virtual Walkthrough* e di ambienti 3D interattivi stia ridefinendo i paradigmi della progettazione culturale contemporanea. In tale prospettiva, il modello 3D si trasforma in un ambiente di esplorazione, di apprendimento e di narrazione, in cui l'utente non è più un semplice spettatore ma diviene egli stesso soggetto attivo. La transizione dal *Virtual Tour* (punti fissi a 360°) al *Virtual Walkthrough* (navigazione libera) assume una rilevanza non solo tecnologica, quanto epistemologica, poiché richiede un ripensamento culturale, sociale ed educativo dei processi di innovazione, promuovendo la collaborazione interdisciplinare e l'adattamento. L'integrazione della gamification, di contenuti multimodali e dell'intelligenza artificiale a supporto della curatela traccia una chiara evoluzione verso una futura democratizzazione del patrimonio culturale che non trascende la mera fruizione, ma che investa direttamente l'accessibilità e la produzione dei contenuti digitali.

Nell'insieme, tali contributi delineano uno scenario in cui la digitalizzazione 3D non rappresenta più una frontiera sperimentale, ma diviene un settore maturo, attraversato da tensioni, sfide e opportunità. Emerge, da un lato, l'esigenza imprescindibile di infrastrutture solide, di protocolli standardizzati, nonché di modelli di governance sostenibili; dall'altro, la necessità di consolidare competenze, di sostenere comunità di pratica e di adottare modelli partecipativi, con la costante tensione verso nuove modalità di narrazione, di interazione e di accessibilità condivisa.

Lo *stato dell'arte* che si delinea non restituisce una tecnologia in cerca di validazione applicativa, bensì un settore in continua ridefinizione del proprio statuto culturale. Il modello 3D non è più soltanto una rappresentazione, ma diviene uno spazio di lavoro, di relazione e di decisione. È proprio in questa transizione – lenta, complessa, ma irreversibile – che si inscrivono le prospettive future della digitalizzazione del patrimonio culturale.

Intervista a Laura Moro

Dipartimento per la tutela del patrimonio culturale

La Direzione generale Archeologia, belle arti e paesaggio (DG ABAP) del Ministero della cultura, incardinata nel Dipartimento per la tutela del patrimonio culturale, è l'amministrazione centrale responsabile della tutela dei beni di interesse archeologico, storico-artistico, architettonico e demoetnoantropologico, oltre che della qualità e tutela del paesaggio, esercitando funzioni di indirizzo, coordinamento e controllo sulle Soprintendenze Archeologia, belle arti e paesaggio presenti sul territorio nazionale.
Nel corso del tempo, l'attività di tutela, di autorizzazione e di concessione ha generato, attraverso le Soprintendenze ABAP e gli Istituti centrali, un patrimonio molto esteso di rilievi, modelli tridimensionali e altre copie digitali di beni culturali, prodotti in occasione di interventi di restauro, scavi archeologici, indagini diagnostiche e studi promossi o autorizzati anche in collaborazione con università ed enti di ricerca. Questi materiali, oggetto di iniziative di ricognizione e digitalizzazione sono destinati a confluire nel più ampio ecosistema di risorse digitali attivato dal PNRR e rappresentano oggi una componente strategica del patrimonio culturale digitale nazionale.
Con il PNRR, inoltre, la DG ABAP ha avviato, nel 2025, una campagna di digitalizzazione tridimensionale dei beni culturali immobili e di ricognizione dei dati tridimensionali già esistenti. Tale iniziativa dà attuazione all'accordo di collaborazione siglato nell'ottobre 2023 tra la Direzione generale ABAP e l'Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale – Digital Library, volto a sviluppare progetti di interesse comune nell'ambito dell'investimento PNRR M1C3 1.1 "Strategie e piattaforme digitali per il patrimonio culturale", sub-investimento 1.1.5 "Digitalizzazione del patrimonio culturale".
Per la centralità del suo ruolo istituzionale nella tutela e nella regia dei processi di digitalizzazione 3D dei beni culturali, la DG ABAP è quindi un attore fondamentale in questo settore. Per approfondire prospettive, criticità e opportunità legate alla produzione, gestione e riuso dei dati tridimensionali, abbiamo intervistato l'arch. Laura Moro, al momento dell'intervista dirigente del Servizio II – Scavi e tutela del patrimonio archeologico all'interno della Direzione generale ABAP, già direttrice dell'Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale – Digital Library e le abbiamo chiesto di parlarci degli obiettivi del gruppo di lavoro che si sta costituendo per coordinare i processi di digitalizzazione del patrimonio culturale.

Questa giornata di studi rappresenta un momento prezioso per costruire reti tra istituzioni, poiché in molti stiamo percorrendo un cammino analogo verso la trasformazione digitale. Incontri come questo consentono di individuare

nuovi filoni di ricerca e di confrontare le diverse prospettive con cui affrontare il tema della digitalizzazione del patrimonio culturale.
Come Ministero, riteniamo fondamentale comprendere e monitorare tutte le iniziative in corso nel settore, per favorire un coordinamento efficace e la condivisione delle esperienze.
La Direzione generale Archeologia, belle arti e paesaggio ha costituito un gruppo di lavoro specifico sulla digitalizzazione 3D con l'obiettivo primario di contribuire alla trasformazione digitale attraverso un'efficace governance dei processi. Nel corso della mia recente esperienza professionale, il mio punto di osservazione si è spostato dalle strategie ad alto livello su tecnologie e processi per guidare gli istituti nella trasformazione digitale, al lavoro diretto con le strutture territoriali. Questo cambiamento di prospettiva ha evidenziato la necessità di operare a un livello più concreto, attraverso il dialogo costante con chi opera quotidianamente negli uffici. Il gruppo di lavoro nasce proprio da questa esigenza: lavorare a stretto contatto con le persone che costituiscono il primo anello della catena di produzione del valore.
Gli obiettivi che ci proponiamo sono molteplici e interconnessi. Il primo obiettivo è creare consapevolezza sulla necessità di governare i processi di digitalizzazione, anziché essere governati dalle tendenze tecnologiche e dalle dinamiche di mercato. Nel campo della digitalizzazione 3D, che viene praticata ormai da vent'anni in modo sistematico, gli istituti culturali sono stati spesso trainati dalle aziende fornitrici di servizi. È giunto il momento di invertire questa tendenza, assumendo il pieno controllo strategico dei progetti di digitalizzazione. Senza questa consapevolezza, diventa difficile costruire quelle catene di valore che tutti riteniamo essenziali.
Il secondo obiettivo consiste nel mettere ordine al patrimonio digitale esistente. In questi anni è stato realizzato un lavoro considerevole, ma i risultati sono dispersi: dagli oggetti digitali che costituiscono ormai archeologia digitale fino ai progetti di eccellenza più recenti. È necessario far emergere questo patrimonio e stabilire delle priorità, anche perché alcune risorse rischiano di diventare irrecuperabili. Dobbiamo quindi identificare con chiarezza dove e come investire le risorse disponibili.
Un ulteriore obiettivo riguarda la definizione delle reali esigenze di digitalizzazione. La domanda fondamentale da porsi è: a cosa serve la digitalizzazione tridimensionale? Troppo spesso i progetti nascono perché un'azienda ha proposto un servizio, perché ci sono disponibili fondi da spendere, o semplicemente per eseguire un rilievo, senza una chiara visione strategica. Raramente si riesce a definire una risposta adeguata perché manca la consapevolezza dell'obiettivo finale: paradossalmente il modello 3d viene considerato un risultato in sé compiuto, quando invece è più che altro una domanda di conoscenza tutta da sviluppare. Il gruppo di lavoro si propone di condividere le esigenze in relazione agli obiettivi, che possono variare notevolmente sia per livello di maturità digitale sia per applicazioni e ricadute pratiche. È fondamentale, infatti, fornire agli uffici territoriali strumenti concettuali e metodologici che permettano di comprendere come i modelli tridimensionali

possano integrarsi concretamente nei processi di tutela e valorizzazione. Può sembrare scontato, ma questi strumenti spesso non sono disponibili. I modelli 3D entrano negli uffici ma frequentemente non generano valore aggiunto per le attività istituzionali. Solo chiarendo tutti gli aspetti che ho messo fin qui in evidenza sarà possibile pianificare una campagna sistematica di digitalizzazione tridimensionale e nel recuperare il patrimonio digitale pregresso. Se non focalizziamo adeguatamente i passi precedenti, rischiamo di continuare a disperdere energie e risorse, senza ottenere risultati significativi.

A proposito dell'infrastruttura che la Digital Library *sta realizzando, quale ruolo avranno le copie digitali 3D dei beni culturali nell'ecosistema MiC?*

Entrando nel merito delle infrastrutture tecnologiche, è utile delineare i requisiti che deve possedere una piattaforma che si propone di gestire modelli 3D, sia essa quella che sta realizzando l'Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale – *Digital Library* del Ministero o qualsiasi altra infrastruttura. Espongo questi requisiti in ordine crescente di complessità, invitando a riflettere su quali dati e metadati debbano accompagnare ciascuna categoria per generare effettivo valore. Questo esercizio permette di comprendere la stratificazione e la complessità dei dati necessari.
La prima funzione, necessaria e urgente, è costituire un repository per l'archiviazione dei dati grezzi (*raw*). Attualmente questi dati restano esclusivamente nelle mani delle aziende che hanno eseguito le acquisizioni. Si pone quindi una questione cruciale: è corretto che i dati raw rimangano solo presso le aziende, o devono essere disponibili anche per le amministrazioni pubbliche e la ricerca? Se la risposta è affermativa, occorre predisporre un ambiente adeguato per accogliere e catalogare questi dataset, completo dei metadati necessari. L'urgenza è evidente: questi dati sono di fatto inaccessibili, in quanto conservati conservati dalle aziende che li hanno prodotti.
Il secondo livello consiste nel costituire un repository dei modelli elaborati. Anche in questo caso, benché la situazione sia leggermente migliore rispetto ai dati grezzi, i modelli si portano dietro una serie di metadati di processo, i cosiddetti paradati, che spesso non vengono consegnati o non sono considerati rilevanti. Quando però ci si trova a gestire centinaia di modelli realizzati in anni diversi, i metadati diventano fondamentali per valutare l'attendibilità di ciascun modello tridimensionale. Sarebbe opportuno creare anche un repository dei software utilizzati per l'elaborazione: un progetto sfidante che probabilmente non potrà essere gestito direttamente dall'amministrazione.
La terza necessità riguarda la visualizzazione dei modelli. Esistono già numerosi visualizzatori, alcuni anche ben realizzati, ma è fondamentale fornire agli uffici strumenti accessibili per consultare facilmente questo patrimonio. Senza strumenti di visualizzazione adeguati, diventa difficile comunicare le potenzialità dei modelli 3D. Troppo spesso nelle soprintendenze vengono archiviati hard disk contenenti dati preziosi che non possono essere utilizzati e valorizzati.
Il quarto obiettivo, dove inizia la vera creazione di valore, consiste nell'ar-

ricchire i dati tridimensionali attraverso le relazioni con altri dati. I primi tre punti costituiscono la base necessaria, ma il valore si genera quando i dati entrano in relazione tra loro. In questa fase gioca un ruolo fondamentale la semantica. Il progetto ArCo, che ho avviato quando ero alla direzione dell'Istituto centrale per il catalogo e la documentazione, è diventato un punto di riferimento in questo ambito, dimostrando che il valore risiede nelle relazioni tra entità. Applicare la semantica ai modelli 3D rappresenta una sfida complessa, ancora più che per altri tipi di dati; si tratta di un percorso da sviluppare con concretezza e proporzionalità.
Il quinto livello, di complessità nettamente crescente, prevede l'arricchimento dei modelli 3D con ulteriori strati di dati provenienti da sistemi di produzione diversi. Il modello 3D può diventare così un archivio della conoscenza relativa al bene culturale. Così come il GIS rappresenta l'archivio dei dati spaziali, il 3D deve progressivamente trasformarsi nell'archivio della conoscenza dei beni culturali, in particolare di quelli immobili, ma potenzialmente di tutti i beni.
L'ultimo punto riguarda la gestione operativa dei gemelli digitali. Una volta creati, i gemelli digitali devono diventare strumenti attivi, disponibili sia per le istituzioni che li hanno commissionati sia per applicazioni di terze parti che li utilizzino per modellazioni di vario tipo, simulazioni, modelli predittivi, visualizzazioni avanzate per la valorizzazione. Possono supportare simulazioni di allestimenti, mostre virtuali e tutte le applicazioni legate sia alla tutela sia alla valorizzazione del patrimonio. È evidente che questo livello di complessità non può essere gestito interamente da un singolo istituto, né può farlo completamente l'Istituto della Digital Library, né l'università, né un singolo centro di ricerca. Si delinea quindi un ecosistema in cui ciascun soggetto si specializza in specifiche funzioni, portando il proprio know how.
È importante ricordare che una piattaforma, per definizione, deve essere end-to-end: deve cioè mettere in collegamento soggetti diversi, da un capo all'altro della catena. Le piattaforme devono guidare l'utente e risolvere problemi concreti, altrimenti non sono vere piattaforme. Chi sviluppa e gestisce questi sistemi si assume una grande responsabilità, ma altrettanta responsabilità spetta a chi li utilizza e li alimenta, impegnandosi in una corretta gestione dell'intero ciclo di vita del dato. Per questo la formazione è fondamentale. Sono lieta che in questa giornata di studi si affronti anche il tema della formazione, che rappresenta una priorità non solo per il contesto universitario, ma soprattutto per le istituzioni culturali.

Il patrimonio culturale tra innovazione, persone e comunità: la mappa SHARE. Pratiche di cultura al digitale

Elena Pelosi
Scuola nazionale del patrimonio e delle attività culturali

Parole chiave: digitalizzazione; patrimonio culturale; formazione; comunità di pratica.

Il patrimonio culturale si trova oggi al crocevia di una trasformazione senza precedenti: il processo di digitalizzazione. Non si tratta semplicemente di un passaggio di contenuti dal fisico al digitale, ma di un vero e proprio cambio di paradigma che ridefinisce il ruolo dei professionisti, le metodologie di conservazione e le dinamiche di fruizione.
Al centro di questo profondo ripensamento, emerge un principio cardine che costituisce il fondamento di ogni iniziativa di successo: "Le tecnologie abilitano i processi che sono governati dalle persone"[1], si tratta di un concetto chiave che sottolinea come il successo di qualsiasi progetto digitale non dipenda dalla sofisticazione dei suoi strumenti, ma dalla capacità umana di utilizzarli in modo strategico e sinergico.
È su questo pilastro che si fonda l'iniziativa: *Dicolab. Cultura al digitale*[2]. Un progetto ambizioso che mira a supportare e guidare i professionisti della cultura nel percorso di trasformazione digitale e nel processo di valorizzazione del patrimonio culturale attraverso le tecnologie. *Dicolab. Cultura al digitale* è un progetto realizzato dalla Scuola nazionale del patrimonio e delle attività culturali[3] e promosso dal Ministero della Cultura – *Digital Library*[4] e rientra nel più ampio piano del PNRR Cultura 4.0. Si tratta di un'iniziativa di grande importanza strategica a livello nazionale, che punta a supportare l'innovazione attraverso un approccio unico e flessibile e usa un modello di blended learning che unisce le lezioni in presenza e online, offrendo percorsi totalmente gratuiti, qualificati e certificati. L'approccio di base di Dicolab è sistemico e olistico: non si limita a fornire corsi di formazione o a creare una

[1] Ministero della cultura – Piano nazionale di digitalizzazione del patrimonio culturale 2022-2023 - Versione 1.1.
[2] www.dicolab.it.
[3] https://www.fondazionescuolapatrimonio.it/.
[4] https://digitallibrary.cultura.gov.it/.



1 Mappa Share con legenda. L'immagine è esportata dal sito dicolab.it. La mappa SHARE è interattiva e si implementa attraverso una survey.

banca dati statica, ma si propone di costruire una vera e propria "comunità di pratica". Questo ecosistema virtuoso è pensato per essere un luogo dove la conoscenza viene condivisa in modo organico, dove i problemi vengono affrontati collettivamente e dove le soluzioni emergono dal confronto diretto tra pari.

È proprio in questa visione che è stato ideato il progetto SHARE[5], un progetto che funge da strumento per la sistematizzazione e la condivisione di esperienze, progetti e informazioni, cuore pulsante dell'intera iniziativa. "SHARE - Pratiche di cultura al digitale" è una mappa interattiva che raccoglie i progetti di trasformazione digitale italiani del patrimonio librario, archivistico, storico, artistico, grafico, fotografico, archeologico, architettonico, demo-etnoantropologico, sonoro.

Una mappa in continuo aggiornamento, che mette a sistema esperienze e buone pratiche di digitalizzazione. Per i professionisti, gli studiosi e gli operatori del settore culturale italiano si tratta di un nuovo strumento di condivisione, confronto e apprendimento. All'interno della mappa è possibile individuare i progetti che sfruttano le potenzialità del digitale per ampliare le possibilità di fruizione del patrimonio culturale, per innovare le forme di partecipazione e gli strumenti di apprendimento, per migliorare i processi di monitoraggio e gestione.

Il progetto SHARE, pur essendo un'iniziativa interna a Dicolab, non è nato da un'idea predefinita, ma è il frutto di un'attenta analisi delle esigenze emerse direttamente sul campo.

Durante i primi incontri con i referenti regionali, è stata più volte manifestata l'esigenza non solo di conoscere ciò che stava accadendo a livello nazionale

5 https://dicolab.it/share-pratiche-di-cultura-al-digitale/.

e internazionale nel campo della digitalizzazione, ma anche di costruire una rete di confronto costante che fungesse da strumento di formazione in tempo reale. In risposta a questa richiesta, è stata pensata una "mappatura", uno strumento dinamico e in costante aggiornamento che raccoglie i progetti di digitalizzazione del patrimonio culturale realizzati o in corso d'opera a partire dal 2019. Il processo di inserimento nella mappa avviene attraverso un questionario che è stato perfezionato nel tempo per renderlo più accessibile e funzionale. Inizialmente, il questionario era molto dettagliato e, sebbene fornisse una mole preziosa di dati, la sua complessità rappresentava una barriera all'ingresso. Per superare questa difficoltà, il sondaggio è stato riorganizzato in due fasi distinte: un primo passaggio di iscrizione che richiede informazioni generali sull'istituzione e sul progetto, seguito da un secondo, più approfondito, per raccogliere dati specifici su obiettivi, finanziamenti e criticità. Questa divisione mira a facilitare la partecipazione, trasformando la mappatura non solo in una raccolta dati, ma in un punto di partenza per una serie di attività volte a coinvolgere attivamente le organizzazioni, sia in modalità online che, soprattutto, in presenza. La partecipazione alla rete di Dicolab e il contributo alla mappatura di SHARE non sono azioni unilaterali, ma offrono una serie di vantaggi concreti, modulati in base allo stato di avanzamento dei progetti. Per i progetti già conclusi, il beneficio principale è la visibilità e la messa in rete.

Dicolab ha in programma diverse forme di divulgazione e disseminazione che rendono i progetti protagonisti, aumentando la loro riconoscibilità e valorizzando il lavoro svolto. Ma il vantaggio più significativo è la possibilità di diventare formatori attivi, condividendo le proprie esperienze e conoscenze con la comunità. Questo non solo consolida la leadership del progetto, ma contribuisce attivamente alla crescita del settore nel suo complesso, creando un ciclo virtuoso di apprendimento. L'innovazione tecnologica ha rivoluzionato il modo in cui il patrimonio culturale viene preservato, studiato e reso accessibile, fungendo da catalizzatore per un cambiamento profondo.

Questo processo, tuttavia, non può essere ridotto a una semplice adozione di nuovi strumenti.

Al contrario, richiede una visione olistica che metta al centro le competenze delle persone e la formazione di comunità di pratica, il cui fine ultimo è la piena valorizzazione e l'accessibilità del patrimonio stesso. Le competenze rappresentano l'elemento umano essenziale per tradurre il potenziale dell'innovazione in risultati concreti. Non si tratta solo di competenze tecniche, come l'uso di software specifici o la gestione di banche dati, ma anche di competenze trasversali (*soft skills*), la vera bussola per navigare nella complessità del settore. Tra queste rientrano la capacità di pensiero critico, fondamentale per valutare l'impatto etico e la sostenibilità delle soluzioni digitali, il *problem solving* di fronte a sfide come l'interoperabilità dei dati e la conservazione a lungo termine, e l'abilità di comunicazione interfunzionale e di gestione dei progetti complessi, essenziale per coordinare gruppi composti da archivisti, storici, informatici e esperti di comunicazione. Senza queste abilità, l'innova-

zione rimane un esercizio puramente tecnico, privo della guida strategica necessaria per generare valore duraturo e creare un efficace storytelling digitale del patrimonio per pubblici diversificati.
La comunità di pratica emerge come la risposta più efficace alla necessità di acquisire e diffondere queste competenze in un settore in rapida evoluzione. A differenza dei percorsi di formazione formali, una comunità di pratica è un gruppo di persone che condividono un interesse, affrontano problemi simili e si impegnano in un'interazione reciproca per imparare gli uni dagli altri.
Questo modello favorisce un apprendimento continuo e orizzontale, basato sulla condivisione di esperienze, successi e fallimenti. Il concetto di innovazione, competenze e comunità di pratica trova la sua espressione più concreta nelle piattaforme digitali, che agiscono come strumenti essenziali per la conoscenza e la messa in rete del sapere.
Una piattaforma, in questo contesto, non è un semplice contenitore di dati, ma un ecosistema dinamico che abilita processi e relazioni umane, trasformando l'informazione in un patrimonio condiviso. Nel settore del patrimonio culturale, ciò si traduce nella creazione di database consultabili che aggregano dati, best practice e risorse formative.
L'esempio del progetto SHARE illustra perfettamente questa funzione: la mappatura dei progetti di digitalizzazione diventa una banca dati viva, dove è possibile analizzare *trend*, individuare criticità e apprendere dalle esperienze altrui. La piattaforma rende la conoscenza non solo disponibile, ma anche contestualizzata e navigabile, permettendo ai professionisti di arricchire le proprie competenze in modo autonomo e mirato. In questo senso, la piattaforma funge da ponte tra le risorse formative (come i corsi di e-learning di Dicolab) e l'applicazione pratica, permettendo ai professionisti di confrontarsi sui problemi reali e di trovare soluzioni collettive. Questo processo di *networking* del sapere è fondamentale per lo sviluppo di nuove competenze e per la risoluzione delle sfide complesse che l'innovazione tecnologica pone al settore, anche in relazione al tema fondamentale della co-creazione e della cittadinanza attiva. La digitalizzazione rappresenta infatti il catalizzatore per un cambiamento radicale nel rapporto tra istituzione culturale e pubblico, passando da una logica di fruizione passiva a una di partecipazione attiva. La co-creazione implica che l'utente non sia più solo destinatario, ma soggetto attivo, co-autore o co-curatore dei contenuti e dei servizi culturali.
Attraverso strumenti digitali, è possibile avviare progetti di crowdsourcing culturale in cui i cittadini contribuiscono alla trascrizione di documenti, alla geolocalizzazione di reperti, o all'arricchimento di metadati, come la datazione di fotografie storiche, attività che non solo velocizzano l'indicizzazione, ma generano un profondo senso di appartenenza e responsabilità civica verso il patrimonio. La possibilità di riutilizzare i dati aperti (Open Data) dei beni culturali digitalizzati, in linea con le direttive europee, incoraggia la creatività diffusa e permette a startup, ricercatori e semplici appassionati di sviluppare nuove applicazioni e narrazioni, trasformando il patrimonio in un motore di innovazione sociale ed economica. Questa apertura democratica è la base

della cittadinanza attiva digitale, che riconosce il diritto di ogni individuo di contribuire all'arricchimento e alla diffusione della propria eredità culturale.
La formazione è il pilastro centrale di Dicolab, che si rivolge a tutti i professionisti e alle organizzazioni del settore culturale che stanno affrontando la digitalizzazione non solo come un'introduzione di nuovi strumenti, ma come una vera e propria trasformazione organizzativa. L'offerta formativa è ampia e diversificata, con corsi di e-learning che combinano contenuti multimediali, webinar e podcast, rendendo l'apprendimento accessibile a distanza, e focalizzandosi anche sullo sviluppo di quelle competenze relazionali indispensabili per interagire efficacemente con le comunità e facilitare i processi di co-creazione sul territorio.
Per raggiungere il maggior numero di persone e coinvolgere il territorio, il progetto ha attivato anche una rete di dieci hub distribuiti in tutta Italia. Questi centri, in collaborazione con enti e istituzioni locali, avranno il compito di mobilitare le competenze, attivare le istituzioni culturali e coinvolgere professionisti e imprese, agendo come nodi nevralgici per la promozione della partecipazione e dell'inclusione sociale.
L'obiettivo fissato dal PNRR è ambizioso: permettere a 40.000 utenti di completare il loro percorso formativo entro giugno 2026. In poco più di tre anni, il progetto avrà un impatto significativo sul sistema culturale italiano con la creazione di oltre 100 prodotti formativi originali, l'offerta di 400 ore di laboratori e il coinvolgimento di 300 docenti ed esperti. Tuttavia, Dicolab riconosce il valore insostituibile del confronto diretto e per questo integra la formazione online con programmi in presenza, realizzati grazie a collaborazioni con le Regioni. L'iniziativa di creare una rete di centri locali nelle diverse regioni, che fungono da hub per la formazione, è un passo fondamentale per avvicinare la conoscenza ai professionisti sul territorio e, contestualmente, per stimolare l'engagement della cittadinanza, trasformando i luoghi della cultura in laboratori di innovazione aperti e inclusivi. L'obiettivo è chiaro, costruire un nuovo ecosistema digitale condiviso da tutti, dove tecnologia, persone e comunità cooperano per una valorizzazione del patrimonio più ricca, accessibile e partecipata. È cruciale poi pensare alla conservazione digitale a lungo termine, che va ben oltre la semplice archiviazione, richiedendo strategie chiare per l'obsolescenza tecnologica e la migrazione dei formati, un tema su cui la comunità di pratica di Dicolab può offrire un prezioso confronto tra le diverse esperienze nazionali.
La governance dei dati e l'adozione di standard interoperabili (come quelli definiti dalla Strategia Nazionale per la Digitalizzazione del Patrimonio Culturale) sono pilastri per assicurare che i patrimoni digitalizzati siano preservati come beni comuni e non come isole informative separate e, garantendo la massima fruibilità futura e la possibilità di analisi incrociate tra diversi enti e collezioni. L'adozione di modelli di costo-efficacia deve bilanciare la qualità dell'acquisizione digitale con la sua reale utilità per la ricerca e il pubblico, evitando di digitalizzare solo per il gusto di farlo, ma concentrandosi su ciò che aggiunge valore reale alla conservazione e all'accesso.

Le prospettive future per Dicolab e il progetto SHARE si delineano nel consolidamento della rete nazionale e nell'approfondimento di tematiche emergenti come l'uso dell'Intelligenza Artificiale (IA) per l'indicizzazione automatica, la creazione di esperienze immersive in realtà virtuale (VR) e aumentata (AR) per la valorizzazione *in situ* e *ex situ*, e l'integrazione profonda tra i dati culturali e gli *smart city* per una fruizione contestualizzata.
L'obiettivo è trasformare il sistema formativo da un ciclo di interventi programmati a un processo di evoluzione continua guidato dai fabbisogni reali espressi dalla comunità dei professionisti, garantendo che l'Italia sia all'avanguardia non solo nell'acquisizione di tecnologie, ma nella loro saggezza applicativa, assicurando che il patrimonio digitale sia un lascito sicuro e dinamico per le generazioni future, promuovendo un Digital Heritage Management che sia etico, inclusivo e resiliente ai cambiamenti tecnologici e climatici.
La mappatura SHARE diventerà la spina dorsale per l'analisi predittiva delle esigenze formative e l'identificazione di *best practice* specifiche per nicchie settoriali ancora meno digitalizzate, come ad esempio la gestione delle collezioni museali complesse o la digitalizzazione del patrimonio immateriale. I prossimi anni vedranno un focus crescente sulla creazione di un cloud della cultura nazionale, essenziale per garantire la sicurezza e l'interoperabilità dei dati su larga scala, e sull'implementazione di politiche di licensing chiare e accessibili per massimizzare il riuso creativo dei contenuti digitalizzati, trasformando la ricchezza culturale in un motore di innovazione socio-economica diffusa.
Questo richiede non solo investimenti tecnologici, ma soprattutto un affinamento continuo delle competenze legali e gestionali all'interno delle istituzioni culturali. Un ulteriore sviluppo riguarderà l'espansione della comunità di pratica, favorendo lo scambio di esperienze.

La strategia nazionale per la digitalizzazione del patrimonio culturale: modelli, standard e infrastrutture per un ecosistema interoperabile

Valentina Rossetti
Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale – Digital Library
Università di Bologna

Giovanni Pescarmona
Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale – Digital Library

Lidia Fiorini
GeCO Lab, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze
Sapienza Università di Roma

Parole chiave: digitalizzazione; patrimonio culturale.

L'Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale – *Digital Library* (di seguito *Digital Library*) svolge una funzione strategica nel coordinamento nazionale dei progetti di digitalizzazione e nell'attuazione dell'Investimento M1C3 1.1 del PNRR Cultura[1]. In prima istanza la *Digital Library* ha il compito di fornire strumenti, tecnologie e capacità operative alle istituzioni sul territorio, affinché possa compiersi il percorso di trasformazione digitale del settore. Dall'altra parte, l'obiettivo è quello di armonizzare il lavoro dei domini dell'educazione e ricerca, delle industrie culturali e creative e delle imprese che producono, utilizzano o riutilizzano i dati digitali del patrimonio culturale, con quello delle istituzioni pubbliche afferenti al Ministero della Cultura. Solo mettendo in relazione queste diverse realtà sarà possibile costruire un Ecosistema digitale per la cultura (Ecomic)[2], in cui l'interoperabilità e l'interdipendenza tra dati e sistemi possano diventare caratteristiche centrali per creare servizi innovativi a valore aggiunto che incentivano la fruizione e valorizzazione del patrimonio culturale digitale.
Tale cornice di riferimento si inserisce nell'ambito della trasformazione impressa dalle politiche europee degli ultimi decenni, che hanno ridefinito il ruolo

[1] Ministero dell'Economia e delle Finanze. (2021). Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (#NextGenerationItalia). Governo Italiano.

[2] Ecomic - Ecosistema digitale per la cultura. https://ecomic.cultura.gov.it/.

della digitalizzazione: da semplice supporto tecnico a misura strutturale per la tutela, la gestione e la prevenzione dei rischi climatici, ambientali e antropici (European Commission, 2022a). La *Raccomandazione sullo Spazio Europeo dei Dati per il Patrimonio Culturale* (European Commission, 2021) impone agli Stati membri obiettivi stringenti entro il 2025–2030, prioritariamente rivolti ai beni vulnerabili e ai siti più esposti. La digitalizzazione diventa così un'infrastruttura conoscitiva che supera la sola produzione di modelli 3D e istituisce un ecosistema unitario capace di amplificare gli effetti della trasformazione digitale e di assicurare una valorizzazione piena e continua del patrimonio culturale. Le discipline dedicate alla gestione dei dati spaziali assumono un ruolo cardine nella creazione di sistemi informativi continui, verificabili e aggiornabili, fondamentali per correlare lo stato di conservazione ai fattori di rischio e sostenere decisioni *data-driven*. In questo quadro, i gemelli digitali, concetto che nel dominio dei beni culturali non dispone ancora di una definizione condivisa (Kritzinger *et al*., 2018; Niccolucci *et al*., 2023), si configurano come dispositivi di integrazione e controllo in grado di concentrare in un'unica struttura informativa materiali, aspetti costruttivi, stato di conservazione, fenomeni patologici, interventi pregressi e programmati, piani di manutenzione. La loro funzione operativa consiste nell'assorbire la dispersione delle fonti, ricondurre dati eterogenei a un modello coerente e trasformare la documentazione da pratica episodica a processo continuo, soggetta a un aggiornamento costante grazie ai dati di monitoraggio prodotti da reti di sensori IoT (*Internet of Things*). In questa dinamica, il gemello digitale non rappresenta soltanto un modello descrittivo ma un ambiente analitico che restituisce l'evoluzione dello stato di degrado, le condizioni d'uso, gli effetti degli interventi e le priorità manutentive, fornendo agli *stakeholders* dati oggettivi in base ai quali prendere decisioni, riducendo l'opacità informativa che caratterizza molti contesti del patrimonio.

In questo scenario, la *Digital Library* ha definito un processo *end-to-end* – dall'acquisizione del dato digitale alla valorizzazione finale – accogliendo le sfide europee: (a) digitalizzare entro il 2030 i beni culturali a rischio e quelli ad alta affluenza turistica; (b) creare uno spazio dati comune fondato su criteri di interoperabilità, riuso dei dati e conservazione a lungo termine; (c) promuovere standard e buone pratiche per la gestione del ciclo di vita dei dati 3D. Questa visione strategica si sta concretizzando nell'attuazione dell'investimento M1C3 1.1 "Strategia e piattaforme digitali per il patrimonio culturale" (tabella 1), nel periodo di riferimento che va dal 2021 al 2026.

L'investimento è internamente suddiviso in dodici sub-investimenti raggruppati in quattro principali aree di servizio[3] che promuovono un flusso virtuoso di gestione del ciclo di vita dei dati digitali della cultura, con attenzione particolare a quelli tridimensionali.

In particolare, con il sub-investimento 1.1 la *Digital Library* ha elaborato il "Piano nazionale di digitalizzazione del patrimonio culturale" (di seguito

[3] https://digitallibrary.cultura.gov.it/investimento-1-1/.

Servizi abilitanti	Servizi per la produzione	Servizi per la gestione e conservazione documentale	Servizi di accesso
Sub-investimento 1.1 Piano nazionale di digitalizzazione del patrimonio culturale	*Sub-investimento 1.5* Digitalizzazione del patrimonio culturale	*Sub-investimento 1.8* Polo di conservazione digitale	*Sub-investimento 1.10* Piattaforma di accesso integrato – Digital Library
Sub-investimento 1.2 Sistema di certificazione dell'identità digitale dei beni culturali	*Sub-investimento 1.6* Formazione e aggiornamento delle competenze	*Sub-investimento 1.9* Portale dei procedimenti e dei servizi al cittadino	*Sub-investimento 1.11* Piattaforma di co-creazione e crowdsourcing
Sub-investimento 1.3 Infrastruttura Cloud	*Sub-investimento 1.7* Supporto operativo		*Sub-investimento 1.12* Piattaforma dei servizi digitali per sviluppatori e imprese
Sub-investimento 1.4 Infrastruttura software del patrimonio culturale			

Tab. 1 Investimento PNRR Cultura M1C3 1.1 "Strategia e piattaforme digitali per il patrimonio culturale": panoramica dei dodici sub-investimenti raggruppati in quattro principali ambiti di servizio.

PND) (Digital Library, 2022) che indirizza i processi legati alla trasformazione digitale nel quinquennio 2022-2026, e in cui si propone di orientare anche le attività di digitalizzazione tridimensionale del patrimonio culturale.
A questo scopo, sono stati programmati due documenti tecnico-operativi. Il primo, "Linee guida per la digitalizzazione 3D di beni storico-artistici e museali", è stato condiviso con la comunità e posto in consultazione pubblica nel mese di febbraio 2025 sulla piattaforma governativa "ParteciPA"[4]. Tale azione, guidata dal principio dell'*accountability* (Formez P.A., 2017), ha permesso un confronto attivo tra gli esperti del settore che hanno proposto di arricchire il documento secondo gli esiti condivisi[5], che saranno integrati nella versione definitiva in vista della pubblicazione entro giugno 2026. Il documento, redatto in collaborazione con l'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale del Consiglio Nazionale delle Ricerche, definisce metodologie e criteri standardizzati per la digitalizzazione tridimensionale delle collezioni museali, con particolare attenzione ai beni mobili di interesse storico-artistico e archeologico, secondo un rigoroso approccio documentale.

[4] https://partecipa.gov.it/processes/Linee-Guida-Digitalizzazione-3D?locale=it.
[5] https://partecipa.gov.it/processes/Linee-Guida-Digitalizzazione-3D/f/392/.

Il secondo documento, relativo all'elaborazione di Linee guida per la digitalizzazione 3D di beni immobili, con focus specifico sul patrimonio costruito, monumentale e archeologico, è attualmente in fase di elaborazione ed è sviluppato secondo un'impostazione analoga con il supporto scientifico dell'Università di Ferrara e della Direzione Generale Archeologia, Belle Arti e Paesaggio.

L'impostazione assunta dalla *Digital Library* rappresenta un avanzamento strategico perché introduce un vero cambio di paradigma rispetto alle Linee Guida europee sulla digitalizzazione 3D prodotte in passato (Corns, 2013). Il primo elemento decisivo è la distinzione netta tra i *workflow* di digitalizzazione dei beni mobili e quelli del patrimonio costruito. I precedenti documenti internazionali tendevano a unificare metodi e procedure, trascurando differenze strutturali che incidono su tecniche, qualità, costi, finalità e gestione del dato. Distinguere i due ambiti significa invece riconoscere che la digitalizzazione di un oggetto museale, un sito archeologico e un complesso architettonico presentano condizioni operative, livelli di complessità o forme di output molto eterogenee e difficilmente comparabili. Questa differente impostazione metodologica evita semplificazioni improprie, consente la definizione di standard realistici e offre basi disciplinari solide.

Tale scelta si colloca nella scia delle più recenti direttive europee, che non concepiscono più la digitalizzazione come un atto tecnico isolato o una semplice dimostrazione di competenze operative (European Commission, 2022b). Nei documenti più aggiornati la digitalizzazione è invece interpretata come un progetto strutturato, articolato in fasi verificabili e programmabili. Progettazione preliminare, definizione degli obiettivi, selezione delle tecnologie di acquisizione, controllo dei processi, validazione dei dati, archiviazione e aggiornamento periodico diventano parti integrate di un unico percorso. A ciò si aggiunge la valutazione economica, che non riguarda più la sola fase di acquisizione, ma l'intero ciclo di vita del contenuto digitale. Misurare, modellare, gestire e conservare dati tridimensionali è considerato un processo continuo, da cui discendono protocolli tecnici, amministrativi e gestionali (European Commission, 2022c).

Il quadro europeo più recente evidenzia inoltre un altro scarto: il progresso tecnologico sta riducendo la rilevanza di scegliere tra diversi sistemi hardware e software e quindi gli aspetti critici della digitalizzazione non dipendono tanto dagli strumenti quanto dalla gestione complessiva della *complessità* sia del patrimonio culturale, sia dei processi di digitalizzazione (Ioannides & Patias, 2023; Allen, 2008).

Il patrimonio è un sistema in evoluzione il cui significato supera la somma delle sue componenti materiali, generando nuovi contenuti e trasformandosi nel tempo. La digitalizzazione, insieme a misurazione e rappresentazione, è oggi uno strumento critico per comprendere, documentare e conservare le opere. Documentare il patrimonio significa confrontarsi con un insieme di elementi interrelati, in dialogo costante con contesti ambientali, sociali e territoriali. Questa complessità esclude approcci riduttivi e richiede una

visione olistica, capace di cogliere le relazioni dinamiche che definiscono il patrimonio.
Al concetto di *complessità* si affianca quello di *qualità* riferita alla produzione dei dati, alla loro affidabilità, alla tracciabilità delle procedure, alla loro interoperabilità e sostenibilità nel lungo periodo (Moore *et al*., 2022). La *Digital Library* recepisce questa visione introducendo criteri di qualità, matrici di complessità, requisiti documentali, modelli di metadatazione e strutture dati capaci di garantire trasparenza, neutralità e completezza. Ne deriva un sistema orientato a superare l'obsolescenza tecnica e a valorizzare i contenuti digitali come patrimonio conoscitivo.
Un'ulteriore novità riguarda i destinatari. Le nuove linee guida non si rivolgono più esclusivamente agli operatori tecnici, ma anche a funzionari pubblici, dirigenti di istituti culturali, responsabili di collezioni e progettisti della Pubblica Amministrazione. La digitalizzazione è presentata come un processo che richiede scelte consapevoli fin dalla programmazione: individuazione delle figure professionali coinvolte, definizione dei tempi, previsione dei costi, valutazione delle criticità, capacità dell'ente di utilizzare i dati prodotti. Non è sufficiente acquistare un servizio o dotarsi di uno strumento. Ogni progetto comprende attività di cantiere, procedure di validazione, setup, produzione di file master e derivati, aggiornamento degli asset, gestione degli standard e delle policy di conservazione.
I principi FAIR (Wilkinson *et al*., 2016) fissano un modello operativo che rende ogni risorsa digitale rintracciabile, accessibile, interoperabile e riutilizzabile nel tempo. Impongono identificatori univoci, archiviazione in sistemi indicizzabili, protocolli standard, formati aperti e metadati basati su linguaggi comuni. Richiedono documentazione completa, rispetto degli standard disciplinari e indicazione chiara delle condizioni di riuso. Non chiedono apertura totale, ma gestione strutturata e sostenibile. Le linee guida europee confermano la necessità di repository affidabili con identificatori persistenti, protocolli di conservazione a lungo termine, tracciamento della provenienza e controllo delle versioni. Applicare i principi FAIR al patrimonio culturale digitale garantisce continuità, aggiornamento, condivisione e riuso responsabile, migliorando la cooperazione tra gli attori della tutela, della ricerca e della valorizzazione.
Per il patrimonio costruito, le linee guida in fase di definizione assumono un ruolo strutturale. La digitalizzazione degli immobili introduce condizioni operative assenti nei beni mobili: georeferenziazione, gestione rigorosa di sistemi di riferimento e proiezioni cartografiche, materializzazione e misura di reti topografiche, integrazione coerente di tecniche diverse, come scansione terrestre, sistemi SLAM, mobile mapping, fotogrammetria terrestre e aerea. Ne derivano modelli destinati alla gestione, alla manutenzione, alla valutazione del rischio e alla pianificazione degli interventi. La documentazione non coincide con il solo modello digitale: produce elaborati 2D, modelli HBIM, FEM, Heritage Digital Twins, sistemi GIS, ciascuno con logiche, requisiti e livelli di astrazione distinti. Per questo la digitalizzazione è trattata come

un'attività progettuale a tutti gli effetti, soggetta agli stessi vincoli metodologici dei progetti architettonici e di conservazione.
La gestione del costruito richiede una programmazione a lungo termine che tenga conto dell'aggiornamento dei dati, la definizione delle responsabilità e delle competenze, la manutenzione periodica in presenza di modifiche del manufatto o del contesto (Historic England, 2025). L'approccio proposto comprende anche il recupero sistematico dei dati preesistenti. Prima di avviare nuove acquisizioni, i principi di sostenibilità sostenuti dalla *Digital Library* richiedono la verifica dell'esistenza di dataset già disponibili e di recuperare i dati pregressi. Un processo complesso che comporta, tra l'altro, il controllo di compatibilità dei formati, la verifica della qualità dei dati digitali, completezza informativa, la struttura dei metadati, modalità di archiviazione e integrità dei file accessori. L'obiettivo è ridurre sprechi, garantire continuità storica e preservare la memoria dei processi.
Dall'altra parte, le *Linee guida per la digitalizzazione 3D di beni storico-artistici e museali* costituiscono un riferimento metodologico stabile e aggiornato per tutti gli attori coinvolti nella digitalizzazione del patrimonio culturale, sostenendo la selezione dei manufatti, la valutazione della complessità, la pianificazione delle attività di rilievo, la gestione dell'intero flusso di lavoro e la valutazione delle offerte tecniche. L'approccio documentale adottato è orientato alla produzione di modelli tridimensionali oggettivi, accurati e privi di interventi autoriali, basato sulla produzione di un *modello master* che costituisce il nucleo generativo dei successivi *modelli derivati* specializzati e in cui trasparenza, neutralità e completezza garantiscono qualità, coerenza e tracciabilità dei processi. Questo riduce il rischio di obsolescenza dei contenuti digitali e rende la digitalizzazione 3D una pratica strutturale per la conservazione, gestione e valorizzazione del patrimonio, costruendo un documento digitale che integra forma, significato, contesto e memoria delle operazioni svolte, in grado di costituire un riferimento essenziale (certamente non un sostituto) anche nel caso di danneggiamento o perdita dell'originale.
La struttura complessiva risponde all'esigenza di standardizzare metodologie e criteri operativi per la digitalizzazione 3D delle collezioni museali, con particolare riferimento ai beni mobili storico-artistici e archeologici. Le *Linee guida* affrontano la grande eterogeneità delle collezioni, organizzando procedure che tengono conto di forme, dimensioni, materiali e differenti comportamenti alla luce dei manufatti. Distinguono tra tecniche di rilievo a contatto e senza contatto, tra acquisizioni indirette passive (ad esempio la fotogrammetria) e attive (laser scanner statici, dinamici o a luce strutturata), chiarendo ambiti d'impiego, limiti e potenzialità dei vari strumenti. Sono escluse le tecniche diagnostiche approfondite, non pertinenti alla riproduzione geometrica e visiva che costituisce il focus del documento.
Il documento si articola in quattro capitoli. Il primo definisce ambito, obiettivi, destinatari e criteri della redazione; introduce l'approccio documentale, chiarisce la distinzione tra *replica* e *contenuto digitale*. Il secondo capitolo tratta le classificazioni qualitative e di processo; il terzo capitolo descrive la sequenza

operativa della produzione del modello 3D, dall'allestimento del cantiere alle fasi di acquisizione, dal processing dei dati alle procedure di esportazione e archiviazione, fino alla documentazione dei processi mediante template standardizzati. Il quarto capitolo definisce il pacchetto di consegna: dati grezzi, modello master, modelli derivati, metadati e paradati, contenuti accessori e informazioni descrittive relative al bene.
Le *Linee guida* includono un glossario che chiarisce il significato dei termini e dei concetti utilizzati, una bibliografia ragionata e una sitografia. Sono inoltre corredate da tre allegati: la "Matrice degli indici di complessità" (un foglio di calcolo che permette di valutare in modo strutturato la complessità di un progetto di digitalizzazione), la "Relazione Setup Acquisizione" (un template per la redazione della relazione sulle attività di setup e acquisizione nella postazione di digitalizzazione in cantiere), la "Relazione Elaborazione" (un template per descrivere in modo ordinato le fasi di elaborazione del master e dei derivati).
Gli Allegati rappresentano un elemento fortemente innovativo nel contesto di documenti sulla digitalizzazione: consentono anche ai gestori delle collezioni di orientare in modo consapevole la selezione dei manufatti da digitalizzare, valutandone le caratteristiche, le criticità e le possibili conseguenti azioni di mitigazione. Rendono il processo più trasparente, favoriscono un lessico condiviso tra gestori e operatori e offrono una traccia chiara per documentare in modo oggettivo l'intero flusso di digitalizzazione, dall'acquisizione alla consegna dei dataset.
La convergenza tra linee guida per il patrimonio costruito e beni mobili crea una struttura coerente che copre l'intero spettro della digitalizzazione del patrimonio culturale. I due documenti affrontano esigenze differenti con metodologie differenziate ma basate sugli stessi principi: trasparenza, neutralità, completezza, qualità e strutturazione del processo. Il risultato è un impianto capace di superare la frammentazione storica delle pratiche di digitalizzazione e di allinearsi con le direttive europee più recenti, concependo la digitalizzazione non come esercizio tecnologico ma come progetto complesso, multilivello, verificabile e sostenibile.
Tali documenti sono un riferimento imprescindibile anche per le nuove acquisizioni digitali che la *Digital Library* sta promuovendo sul territorio nazionale nell'ambito del sub-investimento 1.5 "Digitalizzazione del patrimonio culturale"[6]. L'attività prevede la digitalizzazione di circa 75 milioni di nuove risorse entro il 2026, provenienti dalle collezioni di archivi, biblioteche, musei e luoghi della cultura. Tra queste, circa 5,8 milioni di euro sono destinati alla digitalizzazione tridimensionale di oggetti di deposito museale per mezzo di tecniche avanzate di acquisizione digitale, capaci di produrre modelli tri-

[6] https://digitallibrary.cultura.gov.it/notizie/pubblicata-la-procedura-di-gara-per-l affidamento-di-servizi-per-la-digitalizzazione-3d-e-high-quality-di-oggetti-storico-artistici-archeologici-e-museali/.

dimensionali ad alta fedeltà e riproduzioni digitali ad altissima risoluzione. Il materiale da digitalizzare include manufatti bidimensionali e tridimensionali presenti in vari Istituti culturali afferenti al MiC, eterogenei per tipologia, materiale, funzione, dimensione ed epoca di realizzazione, contesto geografico e culturale. Il set di dati prodotto in questa fase dovrà rispettare i requisiti minimi indicati nel PND, e dovrà essere composto da file master e dati raw di acquisizione, file derivati, metadati, paradati, contenuti accessori, rendering di preview e descrizioni catalografiche dei beni digitalizzati.
Queste nuove digitalizzazioni, insieme al pregresso di dati già digitalizzato o nativo digitale, generano un patrimonio culturale distribuito che necessita di un'infrastruttura tecnologica centralizzata e interoperabile. Per questo, nell'ambito del sub-investimento 1.4, è stata progettata l'infrastruttura dati nazionale I.PaC[7] (Cerullo & Negri, 2023; Cerullo *et al.*, 2024), non solo come spazio dati ma anche come hub di servizi strutturati basati su tecnologie Cloud, modelli semantici e intelligenza artificiale. Tali servizi saranno accessibili tramite API e sono pensati per supportare la gestione, l'elaborazione e l'arricchimento sia delle risorse digitali, sia dei metadati correlati. Per quanto riguarda la fruizione di dati tridimensionali, I.PaC prevede tre diversi livelli di accesso:
accesso in anteprima: l'utente potrà accedere – tramite *viewer* – sia da piattaforma web sia *mobile* a una versione a bassa risoluzione del modello 3D texturizzato;
accesso in modalità estesa: permette la fruizione da applicazioni 3D in realtà virtuale, aumentata o mista di un modello 3D texturizzato a risoluzione media;
accesso tecnico: nel caso di modelli 3D rilasciati con profili di visibilità pubblici, l'utente potrà scaricare la versione ad alta fedeltà per un accesso avanzato, che consentirà successive azioni di analisi o editing.
Al momento, nella finestra temporale di realizzazione dell'investimento M1C3 1.1, anche la visualizzazione avanzata di modelli 3D in I.PaC è in fase di implementazione. Ciò che si rende però evidente è il processo: le *Linee guida* trasformano la digitalizzazione da esercizio tecnico a progetto strutturato e verificabile. L'integrazione con I.PaC garantisce che modelli 3D e metadati semantici alimentino un ecosistema interoperabile (Ecomic), trasformando il patrimonio digitale da risorsa isolata a infrastruttura di ricerca condivisa.

[7] https://ecomic.cultura.gov.it/ipac/.

Bibliografia

Allen, P. M. (2008). The importance of complexity for the research agenda in the built environment. *Architectural Engineering and Design Management*, 4(1), 5-14.

Cerullo, L., & Negri, A. (2023). L'infrastruttura software per il patrimonio culturale (ISPC) come abilitatore di un Ecosistema digitale nazionale del patrimonio culturale. *DigItalia*, 18(1).

Cerullo, L., Bartoli, M., Coppola, L. A., Landino, C., Madonna, A. D., Negri, A., Pescarmona, G., Fauda Pichet, C., Porena, M., & Rossetti, V. (2024). Verso la creazione di un Ecosistema digitale nazionale per la Cultura. *DigItalia*, 19(2), 11-48. https://doi.org/10.36181/digitalia-00101.

Commission Recommendation (EU) 2021/1970 of 10 November 2021 on a Common European Data Space for Cultural Heritage. Publications Office of the European Union. http://data.europa.eu/eli/reco/2021/1970/oj.

Corns, A. (2013). *3D-ICONS: D7.3-Guidelines and Case Studies*. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.1311797.

Digital Library (2022). *Piano Nazionale di Digitalizzazione del Patrimonio Culturale*. Ministero della Cultura.

European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture. (2022a). *Strengthening Cultural Heritage Resilience for Climate Change: Where the European Green Deal Meets Cultural Heritage*. Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-76-48205-5.

European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology. (2022b). *Basic Principles and Tips for 3D Digitisation of Cultural Heritage*. Retrieved from https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/basic-principles-and-tips-3d-digitisation-cultural-heritage.

European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology. (2022c). *Study on quality in 3D digitisation of tangible cultural heritage: Mapping parameters, formats, standards, benchmarks, methodologies, and guidelines: Final study report*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2759/471776.

Formez PA. (2017). Cosa è accountability [PDF]. Retrieved from https://egov.formez.it/sites/all/files/ud12_cosa_e_accountability.pdf.

Ioannides, M., & Patias, P. (2023). The complexity and quality in 3D digitisation of the past: Challenges and risks. In *3D Research Challenges in Cultural Heritage III: Complexity and Quality in Digitisation* (pp. 1-33). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43203-2_1.

Historic England. (2025). Guidance for Tendered Projects: Heritage Protection Commissions and Capacity Building Programme. Retrieved from https://www.historicengland.org.uk/.

Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016-1022. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474

Moore, J. A., Rountrey, A., & Scates Kettler, H. (Eds.). (2022). *3D data creation to curation: Community standards for 3D data preservation*. Association of College & Research Libraries. ISBN 9780838939130. https://doi.org/10.5860/lbscs9.

Niccolucci, F., Markhoff, B., Theodoridou, M., Felicetti, A., & Hermon, S. (2023). The Heritage Digital Twin: a bicycle made for two. The integration of digital methodologies into cultural heritage research. *arXiv*:2302.07138.

Wilkinson, M. D., *et al.* (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3, 160018. https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18

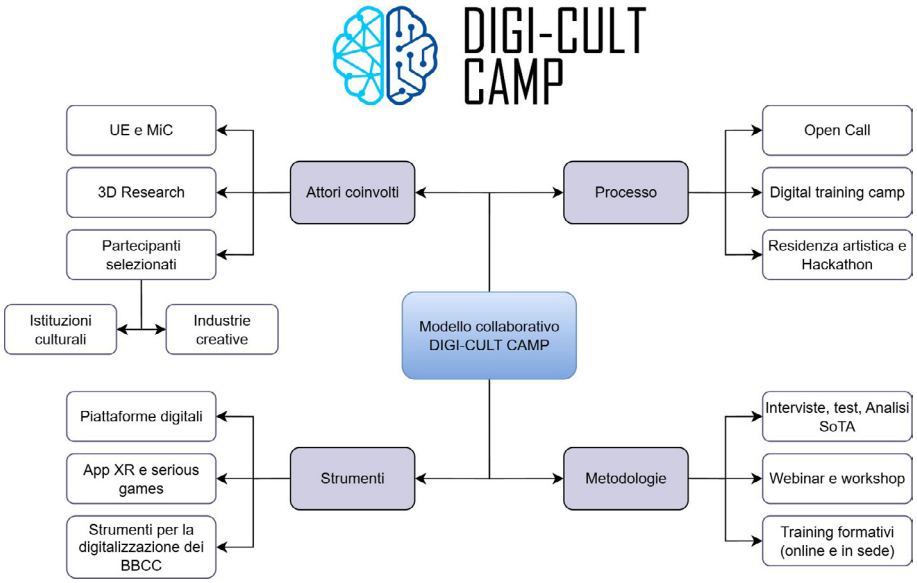
DIGI-CULT CAMP: stato attuale dell'alfabetizzazione digitale delle organizzazioni culturali e creative nel panorama nazionale

Valeria Carioti, Fabrizio Fuoco
3D Research

Parole chiave: alfabetizzazione digitale, mostre virtuali, modello collaborativo, gamification.

Il progetto DIGI-CULT CAMP (*think and live DIGItal with CULTural heritage training CAMP*, linea di finanziamento TOCC - PNRR M1C3I3.3) nasce all'interno di un contesto più ampio di attività condotte dalla nostra organizzazione, 3D Research, che includono non solo lo sviluppo di servizi e tecnologie digitali per enti pubblici e privati, ma anche progetti di ricerca applicata. La nostra storia è fortemente radicata nell'ambito accademico: molte delle persone che compongono il team sono tuttora attive presso l'Università della Calabria, di cui l'azienda è spin-off. In questo quadro, DIGI-CULT CAMP rappresenta uno dei progetti che stiamo sviluppando negli ultimi mesi. Il progetto nasce con l'obiettivo di supportare le organizzazioni culturali e creative nella transizione digitale, affrontando non solo le sfide legate alla formazione e all'adozione di nuove tecnologie, ma anche analizzando il contesto attuale e individuando i fabbisogni concreti degli operatori del settore.
Finanziato nel quadro del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), il progetto coniuga attività di analisi sul campo con la sperimentazione di strumenti e servizi digitali per il patrimonio. Il programma formativo è fondato su tre assi principali: formazione digitale, co-produzione culturale e sperimentazione progettuale. Il progetto, infatti, si suddivide in diverse fasi: formazione erogata in modalità e-learning su una piattaforma digitale implementata per il progetto[1], attività di networking online con webinar e tavoli

[1] Le attività formative erogate ai destinatari e i progetti sviluppati dai partecipanti sono visibili sul sito web https://digicultcamp.eu/.

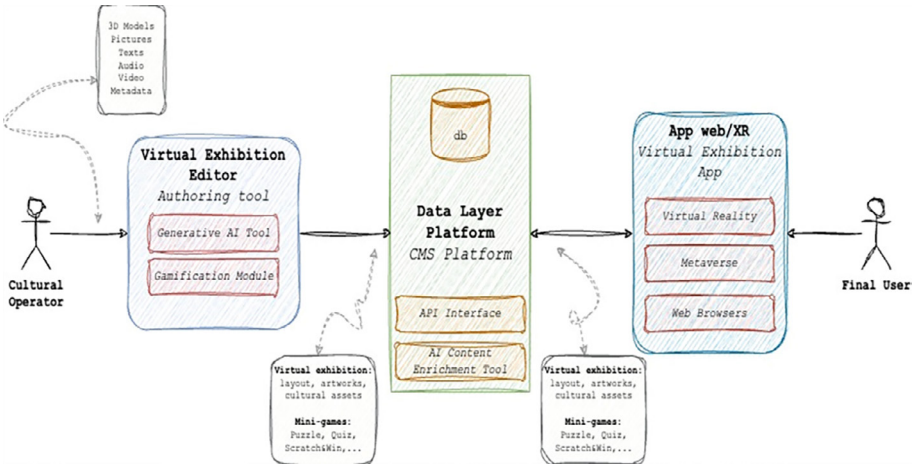


1 Il modello collaborativo DIGI-CULT CAMP: strumenti, attori e metodologie applicate (disegno dell'autore).

di discussione mensili, training formativi in sede sulle tecnologie digitali per il patrimonio culturale, una fase collaborativa e co-produttiva finale, definita *hackathon,* in cui i partecipanti avranno l'occasione di sviluppare delle idee e dei prototipi digitali di valorizzazione di siti culturali. Il modello adottato privilegia relazioni orizzontali tra i partecipanti e promuove la sinergia tra esperti di tecnologia, operatori culturali, creativi, stakeholder pubblici e privati (fig.1).

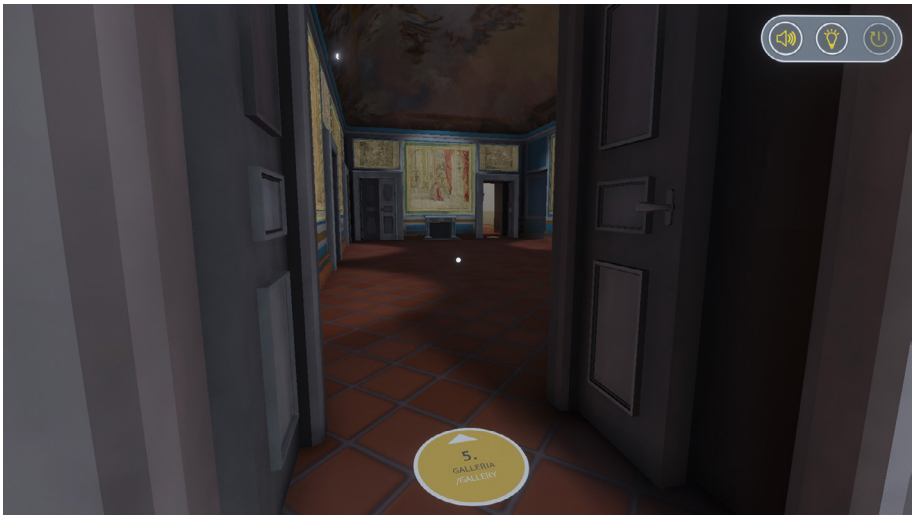
L'analisi preliminare – denominata *State of the Art* – ha avuto lo scopo di fotografare lo stato dell'alfabetizzazione digitale nel settore culturale italiano, individuando criticità, potenzialità e bisogni formativi delle organizzazioni coinvolte. L'indagine ha coinvolto un campione eterogeneo di circa 70 professionisti e operatori attivi su tutto il territorio nazionale, provenienti da ambiti diversi: musei, istituzioni culturali, industrie creative, archeologia, restauro, arti visive, audiovisivo, design, oltre a fondazioni, associazioni, aziende, startup e liberi professionisti. La metodologia ha previsto l'utilizzo integrato di survey, interviste online, focus group e webinar, con l'obiettivo di favorire un confronto partecipativo e di costruire una community attorno al progetto. Tra i primi risultati emerge un forte interesse per i temi della digitalizzazione, percepiti come prioritari per il futuro delle istituzioni culturali. Le tecnologie digitali – in particolare realtà virtuale, realtà aumentata, computer grafica 3D

e intelligenza artificiale – sono viste come strumenti fondamentali per valorizzare il patrimonio, coinvolgere nuovi pubblici e costruire esperienze più accessibili e personalizzate. Tuttavia, accanto a questo entusiasmo, si evidenzia anche un diffuso senso di inadeguatezza, legato sia alla carenza di competenze specifiche che alla difficoltà di accesso alle risorse economiche necessarie per implementare soluzioni avanzate, soprattutto per le piccole e medie istituzioni. Un ulteriore nodo critico riguarda la formazione: da un lato, emerge una domanda crescente di aggiornamento professionale su tecnologie digitali, metodologie innovative, strumenti di comunicazione e strategie di audience development; dall'altro, il costo della formazione e il divario generazionale rappresentano ostacoli significativi alla diffusione capillare delle competenze digitali. In molti casi, le organizzazioni intervistate hanno espresso il bisogno di programmi formativi pratici, applicabili e orientati a risultati concreti.
Per rispondere a tali esigenze, DIGI-CULT CAMP ha previsto l'attivazione di sei pacchetti formativi, sviluppati a partire dai risultati dell'analisi e progettati per colmare le lacune emerse. I corsi affrontano tematiche come la digitalizzazione 2D e 3D del patrimonio, la produzione di contenuti interattivi in AR e VR, lo storytelling e la gamification applicati al patrimonio culturale, l'accessibilità dei contenuti digitali, la cultura della collaborazione multidisciplinare, l'arte generativa, il metaverso e gli NFT. Particolare attenzione è dedicata alla sostenibilità delle soluzioni adottate e alla loro replicabilità da parte degli enti culturali, anche in assenza di risorse tecniche avanzate. Il coinvolgimento diretto dei professionisti e delle istituzioni nella definizione dei contenuti formativi, l'attenzione alla sostenibilità economica e all'accessibilità, la sinergia con altri progetti di ricerca e innovazione rendono il modello proposto non solo replicabile, ma anche scalabile in altri contesti europei e internazionali.
Un caso esemplare della sperimentazione promossa è rappresentato da MINERVA (*Museum INteractive Exhibitions using virtual Reality, adVanced AI and gAmification*, linea di finanziamento "NODES PNRR M4C2I1.5"), un'iniziativa parallela che condivide con DIGI-CULT CAMP l'obiettivo di valorizzare il patrimonio culturale attraverso strumenti digitali, ma si concentra in particolare sull'esperienza immersiva e personalizzata dell'utente. Il progetto, supervisionato dalla Soprintendenza Nazionale per il Patrimonio Culturale Subacqueo, è incentrato sulla creazione di un framework digitale per la realizzazione di mostre virtuali personalizzabili, integrando modelli gamificati e tecnologie di intelligenza artificiale. Il caso d'uso tipico del framework MINERVA pone dunque l'attenzione sia sull'utilizzatore finale dei prodotti digitali sia sul creatore, stavolta inteso non come servizio specializzato esterno all'istituto per la cultura ma come soggetto interno che utilizza uno strumento messo a disposizione, per favorire la creazione di mostre virtuali personalizzate e in maniera semplificata (fig. 2). La chiave di questo processo è l'*authoring tool*, ovvero il Virtual Exhibition Editor, uno strumento semplice e interattivo che, assistito anche da tecniche di Intelligenza Artificiale, permette di manipolare oggetti virtuali quali ambienti e opere 3D.

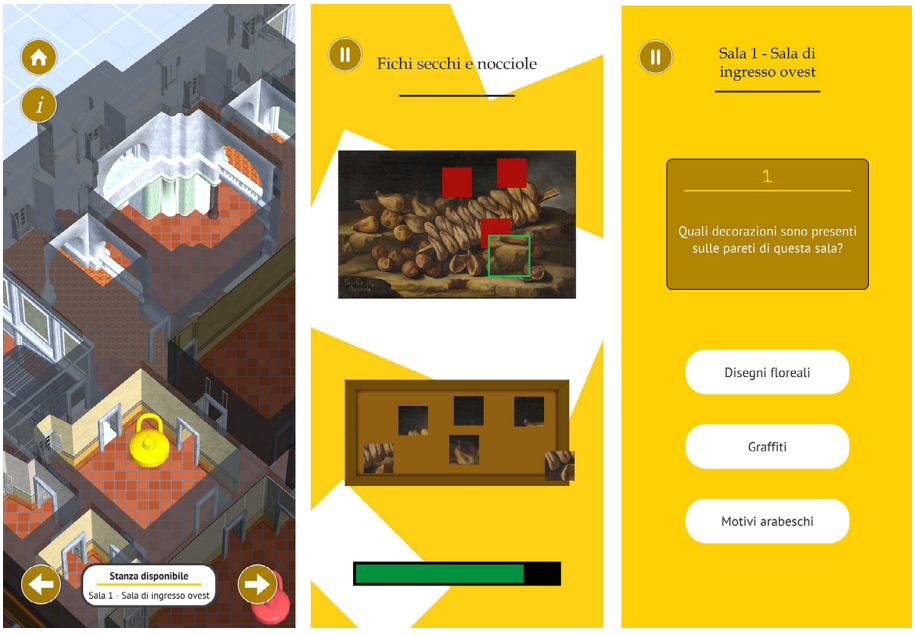


2 Caso d'uso tipico del framework MINERVA (disegno dell'autore).

Per consentire una piena coscienza delle peculiarità che vengono affrontate durante lo sviluppo di MINERVA, occorre introdurre il concetto di Virtual Tour e Virtual Walkthrough. Questi due prodotti digitali offrono entrambi la possibilità di visitare ambienti reali o virtuali tramite uno strumento di interfaccia quale uno schermo touch, una tastiera e il mouse, un joystick. Esperienze di questo tipo vengono realizzate sulla base di specifiche esigenze, ad esempio quella di riprodurre ambienti realmente esistenti o esistiti, consentendo la fruizione di uno specifico stato di esposizione, che sia esso attuale o passato. In questo contesto è, dunque, opportuna la massima accuratezza scientifica per la corretta ricostruzione degli ambienti 3D e delle opere presenti o ricollocate al loro interno. Nei Virtual Tour, oggi molto diffusi, si visualizza un ambiente a 360° spostandosi tra differenti punti di osservazione predeterminati. Gli strumenti comunemente utilizzati per la digitalizzazione, in questi casi, sono fotocamere sferiche o scatti multipli allineati mediante la tecnica detta "a punto fisso". I Virtual Walkthrough (come mostrato in fig. 3) costituiscono una modalità di fruizione immersiva che amplia e arricchisce l'esperienza di visita: consentono all'utente di esplorare l'ambiente in piena autonomia, definendo liberamente direzione e ritmo della navigazione, e di muoversi nello spazio 3D con una percezione analoga alla presenza fisica. In questo modo è possibile soffermarsi su dettagli, cambiare punto di vista, tornare sui propri passi e comprendere con maggiore efficacia relazioni spaziali, percorsi e configurazioni dell'architettura, superando i limiti di una consultazione statica o puramente descrittiva. Le visite virtuali possono essere arricchite con materiale integrativo come immagini, contenuti audio visivi e testuali, o anche mini giochi interattivi ed educativi (fig. 4), che hanno

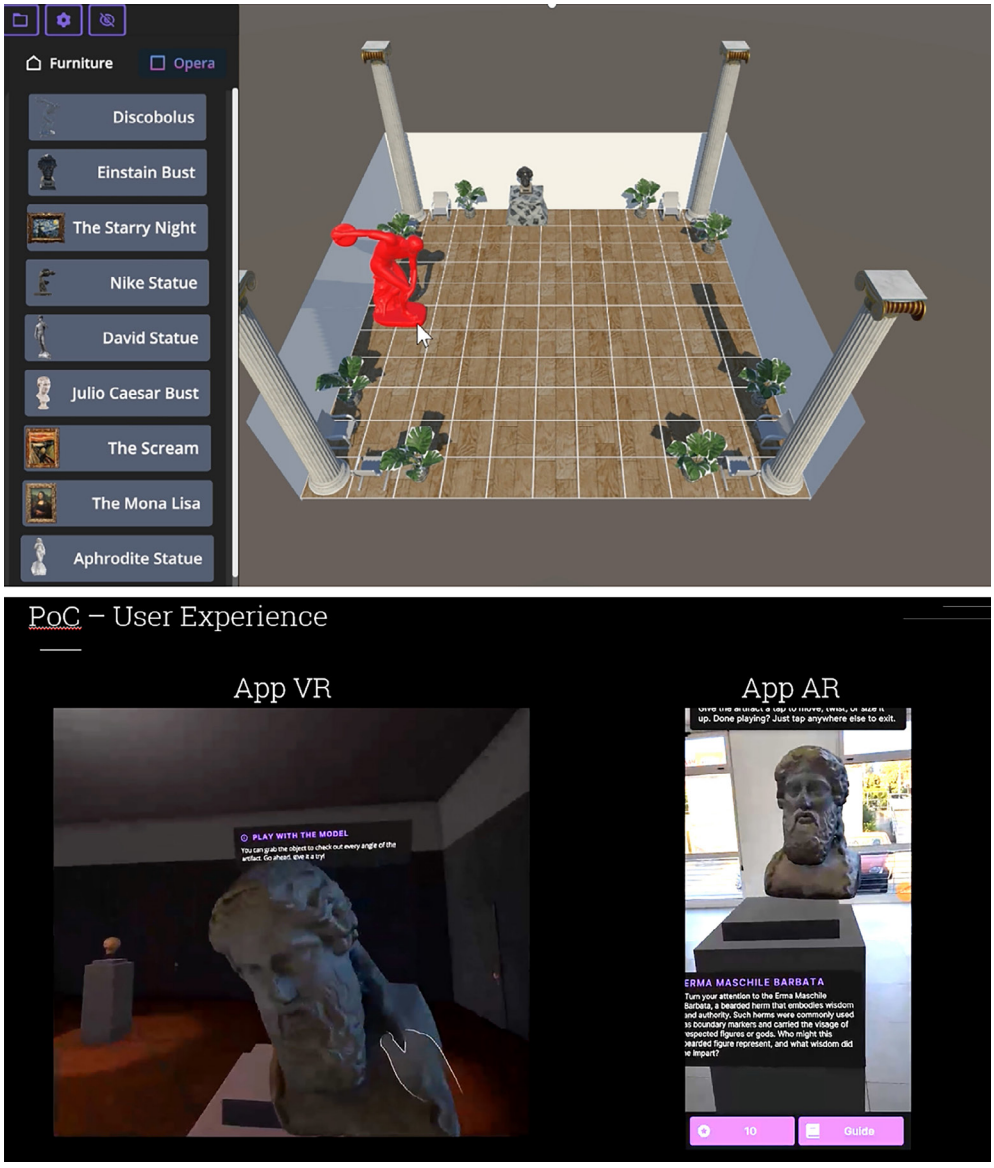


3 Screenshot estratto dal Virtual Walkthrough all'interno delle sale del Real Sito di Carditello (sviluppato dall'autore).



4 Esempio di minigioco integrato in una mostra virtuale (sviluppato dall'autore).

l'obiettivo di coinvolgere anche i visitatori più piccoli attraverso brevi sessioni di gioco e apprendimento simultaneo. Le esperienze attive, come quella realizzata all'interno del Real Sito di Carditello, in cui è possibile esplorare virtualmente oggetti digitalizzati in gigapixel (immagini ad altissima risoluzione ottenute da una mosaicatura di scatti multipli) e interagire con materiale educativo tramite i mini giochi, dimostrano l'efficacia di questi strumenti nell'ampliare l'offerta culturale e raggiungere varie tipologie di pubblico.
Il framework MINERVA unisce alla possibilità di fruire di esperienze create *ad hoc* quella di creare ambienti dinamici e personalizzati. Si basa infatti su un'infrastruttura esistente per la gestione di contenuti digitali (immagini, video, modelli 3D, metadati descrittivi) e mira a offrire agli operatori culturali e ai curatori uno strumento semplice ma avanzato per l'allestimento di mostre in ambienti web e XR (extended reality). Il sistema comprende, infatti, un *Virtual Exhibition Editor*, ovvero una piattaforma che consente di selezionare, organizzare e descrivere gli oggetti digitali della mostra, configurando lo spazio espositivo virtuale in modo personalizzato. Gli operatori culturali possono definire ambienti, percorsi e interazioni, ma anche attivare moduli di AI in grado di suggerire layout, abbinamenti e testi descrittivi coerenti con lo stile curatoriale impostato. Tra gli elementi più innovativi del progetto vi è l'integrazione della *gamification* all'interno del percorso espositivo. Inseriti direttamente nell'ambiente in cui si svolge la mostra virtuale e fruibili in modo simultaneo alla visita, minigiochi narrativi, quiz e puzzle stimolano l'interazione del pubblico e favoriscono l'apprendimento attivo, soprattutto nelle fasce più giovani. Inoltre, l'introduzione di minigiochi con livelli da sbloccare per proseguire nella visita è una strategia utile per coinvolgere e fidelizzare i destinatari finali.
Queste funzionalità non hanno una finalità puramente ricreativa ma sono pensate come strumenti di mediazione culturale e di inclusione, in grado di favorire una fruizione più partecipata e consapevole del patrimonio digitale. Gli utenti finali potranno servirsi di applicazioni multipiattaforma e fluide (web/XR), le cosiddette applicazioni liquide, per la fruizione delle mostre virtuali su PC, dispositivi mobili o di XR (fig. 5). Queste soluzioni offrono un alto livello di accessibilità e consentono un'esperienza di fruizione innovativa e immersiva.
In un contesto in cui molte istituzioni si sono già avvicinate alla digitalizzazione, ma si scontrano con i limiti delle soluzioni disponibili, spesso poco personalizzabili e poco diversificate, questi strumenti si propongono come una risposta concreta e sostenibile.
Se inizialmente veniva richiesta una più elevata competenza e alfabetizzazione digitale per lo sviluppo di un'esperienza virtuale, con progetti come MINERVA viene colmato questo gap, mettendo le varie istituzioni culturali in condizione di creare agevolmente ambienti digitali personalizzati. L'obiettivo è la democratizzazione del patrimonio culturale, aumentando da un lato la fruibilità dei contenuti e dall'altro l'accesso agli strumenti per la creazione di mostre digitali. In questa prospettiva si intende andare oltre l'offerta attua-



5 MINERVA: interfaccia dell'ambiente di creazione della mostra personale (in alto), esempio di esperienza utente immersiva in ambiente VR e AR (sviluppato dall'autore).

le attraverso innovazione tecnologica e nuove metodologie di divulgazione, migliorando al contempo la gestione dei dati digitali per adattarla a pubblici e bisogni differenti.
Analogamente a DIGI-CULT CAMP, la fase preliminare del progetto MINERVA ha visto la diffusione di interviste a organizzazioni culturali (enti museali, gallerie d'arte, curatori d'arte) per valutare le esigenze e verificare le aspettative nei riguardi di una piattaforma pensata per gestire e organizzare mostre virtuali. Da queste interviste sono emersi feedback fondamentali per la definizione dei requisiti e il successivo sviluppo della piattaforma. L'alto tasso di coinvolgimento dei membri delle organizzazioni culturali conferma l'efficacia del sistema in termini di accessibilità, engagement e qualità dell'esperienza immersiva, evidenziando al contempo la necessità di una formazione mirata per gli operatori culturali nell'uso delle tecnologie XR e AI.
Sia MINERVA che DIGI-CULT CAMP evidenziano come la sfida dell'alfabetizzazione digitale non possa essere affrontata esclusivamente sul piano tecnologico, limitandosi all'acquisizione di strumenti e competenze tecniche, ma debba essere inserita in un ecosistema culturale più ampio, che tenga conto delle dimensioni sociali, educative e organizzative dei processi di innovazione. La transizione digitale, infatti, non riguarda solo l'adozione di nuove piattaforme o linguaggi, ma implica un ripensamento delle modalità di produzione, condivisione e fruizione dei contenuti culturali, promuovendo la sostenibilità delle pratiche digitali, la collaborazione interdisciplinare e la capacità di adattamento ai rapidi e spesso imprevedibili mutamenti del contesto tecnologico. In quest'ottica, i due progetti si pongono come laboratori di sperimentazione e come catalizzatori di buone pratiche, offrendo modelli replicabili e scalabili che possano essere adottati da realtà differenti, indipendentemente dalle loro dimensioni o risorse disponibili. Tali modelli permettono di rafforzare la resilienza delle Organizzazioni Culturali e Creative (OCC), accompagnandole in un percorso di trasformazione consapevole, inclusiva e orientata al lungo termine, capace di generare un impatto positivo non solo sul piano gestionale, ma anche sul rapporto con i pubblici e con le comunità di riferimento. L'emergere di progettualità come queste conferma il ruolo sempre più strategico delle tecnologie digitali nella costruzione di nuovi paradigmi culturali. Non si tratta soltanto di digitalizzare collezioni o processi, ma di favorire la costruzione di una cultura digitale che metta al centro la mediazione, intesa come ponte tra complessità tecnologica e accessibilità; la personalizzazione, come strumento per rispondere alle diverse esigenze dei pubblici e rendere l'esperienza culturale più inclusiva; e l'interazione, quale motore per stimolare partecipazione, co-creazione e senso di appartenenza.
In questo quadro, le tecnologie digitali non sono semplici strumenti, ma diventano fattori abilitanti per la valorizzazione e la trasmissione del patrimonio. Esse rafforzano il ruolo delle OCC come presidi culturali, sociali ed educativi nei territori e favoriscono una trasformazione in cui innovazione e tradizione si intrecciano, generando nuove forme di sostenibilità e nuove opportunità di crescita collettiva.

Bibliografia

Atzori, I., Ballor, C., Barbuti, N., Bonacini, E., Clini, P., De Bari, M., Faccini, M., Farroni, L., Fiore, F., Genova, G., Guerzoni, E., Magliano, V., Maniello, D., Mannucci, M., Marras, A. M., Pagano, A., Santagati, C., Schettino, P., & Tonelli, A. (2023). *Report dell'indagine pilota su Digitale e digitalizzazione nei musei italiani (2020–2021): Un'analisi e prospettive future.* ICOM Italia.

Fondazione Symbola, & Unioncamere. (2023). *Io sono cultura. L'Italia della qualità e della bellezza sfida la crisi.*

Sitografia

Network of European Museum Organisations. (2022). *Digital learning and education in museums. Innovative approaches and insights.*
https://www.ne-mo.org/fileadmin/Dateien/public/Publications/NEMO_Working_Group_LEM_Report_Digital_Learning_and_Education_in_Museums_12.2022.pdf.

European Commission. (2022). *Europe's Digital Decade: Digital targets for 2030.*
https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/europes-digital-decade.

Virtual Tour Carditello
https://servizi.fondazionecarditello.org/virtualtour/.

2.

Lavorare con i dati 3D

Introduzione

Marco Canciani

La sezione affronta un tema ormai centrale nel dibattito internazionale sulla digitalizzazione del patrimonio: il valore di un modello tridimensionale non risiede esclusivamente nella qualità della sua rappresentazione, bensì nella possibilità di trattarlo come dato scientifico e risorsa operativa, cioè come contenuto documentato, interrogabile, riusabile e integrabile in processi di ricerca, conservazione, gestione e comunicazione. I contributi raccolti convergono su un punto essenziale: lavorare con il 3D significa costruire condizioni metodologiche, infrastrutturali e organizzative che consentano al dato di essere verificabile, tracciabile e sostenibile nel tempo, superando la logica della mera pubblicazione o visualizzazione.
L'intervista a Nicolò Dell'Unto e a Giacomo Landeschi (Università di Lund, Digital Archaeology Laboratory – DarkLab) introduce il tema dal punto di vista della ricerca e della formazione accademica, ponendo l'accento sulla necessità di trasformare le collezioni digitali in ambienti di lavoro capaci di generare conoscenza. I ricercatori evidenziano come la disponibilità online di modelli 3D, pur crescente, non sia di per sé sufficiente a supportare pratiche didattiche e scientifiche: occorrono strumenti che permettano a studenti e ricercatori di interagire con i dataset, estrarre informazioni e condurre analisi in modo strutturato. In tale prospettiva si colloca *Dynamic Collections*, infrastruttura web 3D sviluppata per l'istruzione superiore e la ricerca in ambito archeologico, che associa alla fruizione dei modelli anche l'accesso ai dati grezzi (raw-data) e l'adozione di profili di condivisione regolati da licenze Creative Commons (CC BY), così da rendere possibile la verifica delle fonti e il riuso dei contenuti. Un ulteriore elemento qualificante riguarda l'impiego di identificatori persistenti (DOI), finalizzati a garantire tracciabilità e citabilità scientifica, nonché l'accesso alle scansioni originali in alta risoluzione nel rispetto delle condizioni di licenza, a supporto della replicabilità e della verifica dei risultati. La stessa impostazione metodologica viene richiamata nel confronto su sperimentazioni avanzate in cui modelli 3D e realtà virtuale consentono analisi complesse (ad

esempio eye-tracking e analisi spaziali in GIS), praticabili solo in presenza di modelli documentati e correttamente gestiti, secondo principi di open science e riuso. In continuità con questa visione, il progetto AIR – Archaeological Interactive Reports è presentato come ulteriore passo verso una digitalizzazione integrale dei processi di documentazione archeologica, capace di aggregare e collegare dinamicamente in ambiente 3D dati di scavo, fotografie, schede stratigrafiche, dati GIS e annotazioni contestuali, supportando anche forme di pubblicazione progressiva delle informazioni.
Il contributo di Bruno Fanini (CNR-ISPC) affronta il tema dal punto di vista dell'infrastrutturazione tecnologica e della costruzione di strumenti web per l'accesso e l'interazione con dati 3D complessi. ATON è presentato come framework aperto, nato nel 2015 e ricostruito nella versione 3.0 anche in risposta a criticità connesse all'obsolescenza e alla dismissione di librerie software, aspetto che evidenzia la rilevanza della sostenibilità tecnologica nell'intero ciclo di vita dei dati e delle piattaforme. ATON è uno strumento che consente di accedere e interagire con contenuti 3D direttamente da browser, senza installazioni, mediante un paradigma "liquido" e responsivo, adattabile a dispositivi eterogenei fino a visori XR. In termini operativi, vengono illustrate funzionalità che qualificano l'uso del 3D come attività analitica e collaborativa: strumenti di annotazione semantica, misurazione e sezionamento, gestione avanzata di materiali e illuminazione, modalità di navigazione differenziate, supporto a AR markerless e VR immersiva, gestione di livelli per contesti multidimensionali, oltre a componenti per la collaborazione sincrona nello stesso spazio virtuale e a funzioni di condivisione e pubblicazione. L'adozione di standard web e formati interoperabili, tra cui glTF, viene indicata come presupposto per l'integrazione con piattaforme e servizi esterni. Un ulteriore aspetto riguarda l'architettura modulare e i modelli di estensibilità (verticale e orizzontale) che consentono personalizzazioni "plug & play" e l'aggiunta di componenti specifici, coerentemente con le esigenze differenziate di comunità scientifiche e domini applicativi.
Il contributo di Federica Maietti (Università di Ferrara; INCEPTION Spin off) propone una prospettiva incentrata sulla dimensione metodologica e semantica del lavoro sul 3D. L'esperienza di INCEPTION viene inquadrata come avanzamento nella gestione dei dati digitali, con l'obiettivo di aggregare "conoscenza" alle geometrie mediante l'integrazione di semantica e condizioni di interoperabilità, in coerenza con i requisiti della call europea da cui il progetto ha origine. La piattaforma INCEPTION è descritta come ambiente open-source web-based che integra modelli 3D con ontologie semantiche, favorendo interoperabilità con altri database e applicazioni; l'approccio si fonda sull'aggregazione di dati e informazioni alle geometrie per aprire nuovi scenari analitici. È centrale l'uso di modelli H-BIM, intesi come struttura informativa in cui geometria e semantica coesistono, collegando al modello risorse archivistiche e documentarie, interventi di restauro e informazioni materico-conservative. L'INCEPTION Core Engine (ICE) è presentato come nucleo della scomposizione semantica: ogni elemento di un modello BIM in formato IFC

viene trasformato in triple semantiche secondo un modello RDF, memorizzate in un triple-store e collegate a metadati e risorse mediante standard del web semantico, rendendo possibile la ricomposizione del sito in un modello 3D navigabile via browser. Tale impianto consente inoltre integrazioni con applicazioni AR/VR preservando struttura e relazioni semantiche, rafforzando l'idea del 3D come base per processi informativi e non come semplice visualizzazione.

Il contributo conclusivo, "Ercolano Digitale", firmato da Ascanio D'Andrea (Packard Humanities Institute / Istituto Packard per i Beni Culturali), Simone Marino e Riccardo Montalbano (Parco Archeologico di Ercolano), presenta un caso applicativo in cui il lavoro con i dati 3D si traduce in una filiera istituzionale integrata. La piattaforma nasce nel quadro del partenariato pubblico-privato tra Parco Archeologico di Ercolano e PHI-IPBC e viene descritta come infrastruttura digitale capace di affrontare simultaneamente conoscenza, conservazione e comunicazione; le finalità includono l'innovazione delle procedure interne attraverso digitalizzazione massiva e normalizzazione degli archivi, la riconciliazione dei repertori mobili con i contesti storici di scavo e l'ampliamento dell'accessibilità del patrimonio attraverso politiche di condivisione dei dati. L'articolazione operativa evidenzia la scala organizzativa del progetto (con un ampio coinvolgimento multidisciplinare) e l'orientamento ai processi, in linea con principi quali interoperabilità, standard condivisi e integrazione tra catalogazione, digitalizzazione e fruizione. In termini metodologici, viene sottolineata l'integrazione tra documentazione tridimensionale e ricostruzione dei contesti: l'analisi sistematica di diari e documenti storici, la georeferenziazione nel GIS del Parco e la correlazione tra fonti e dati archeologici trasformano la digitalizzazione in strumento di indagine storica e topografica. Al contempo, la produzione di dati digitali è esplicitamente connessa a una campagna di catalogazione massiva (anche secondo standard ICCD) e a una progettazione della fruizione come estensione della ricerca, capace di differenziare livelli e modalità di accesso in base alla pluralità dei pubblici (onsite/offsite) senza rinunciare alla coerenza scientifica.

Nel complesso, la sezione restituisce uno stato dell'arte in cui "lavorare con i dati 3D" implica disponibilità e trasparenza dei dataset, incluse componenti raw e identificatori persistenti; strumenti e piattaforme che rendano il 3D misurabile, annotabile, integrabile e collaborativo; modelli semantici e standard interoperabili capaci di connettere geometrie e conoscenze; processi istituzionali che garantiscano qualità, continuità e sostenibilità del ciclo di vita dei dati.

Intervista a Nicoló Dell'Unto e Giacomo Landeschi

Lund University

Il Digital Archaeology Laboratory *dell'università di Lund, (DarkLab[1]) rappresenta un punto di riferimento nel panorama internazionale sul tema delle collezioni digitali che vengono utilizzate per la didattica e per lo studio e la conservazione del patrimonio culturale. Abbiamo chiesto al prof. Nicoló Dell'Unto, direttore del DarkLab, e al prof. Giacomo Landeschi, di parlarci della loro esperienza, delle loro ricerche sugli usi dei modelli digitali in archeologia, di come è affrontato il tema del copyright nel contesto europeo e dei tools più interessanti che hanno utilizzato per condividere, lavorare e visualizzare i modelli 3D attraverso il web.*

Negli ultimi anni con il DarkLab dell'Università di Lund, abbiamo reso pubbliche diverse collezioni digitali in 3D ad alta definizione e questo è avvenuto a partire dalla pandemia quando è divenuta una necessità lavorare da remoto con gli studenti.
Le collezioni digitali 3D sono elementi fondamentali negli studi sul patrimonio culturale: quelle archeologiche, ad esempio, vengono utilizzate quotidianamente per la formazione di archeologi e specialisti del settore. I recenti sviluppi nelle tecnologie di acquisizione e visualizzazione 3D hanno contribuito alla rapida diffusione di un gran numero di collezioni digitali tridimensionali, la cui produzione viene spesso giustificata come un processo di democratizzazione dei dati e della conoscenza. Tuttavia, sebbene diversi set di dati 3D siano oggi disponibili online, non è sempre chiaro come questi materiali – una volta archiviati – possano essere effettivamente utilizzati dagli studenti di archeologia, né quali difficoltà possano incontrare durante il processo di apprendimento. L'obiettivo del progetto "Dynamic Collections"[2] dell'Università di Lund era quello di sviluppare una nuova infrastruttura web 3D destinata a supportare l'istruzione superiore e la ricerca in ambito archeologico, ovvero. costruire

---

1 https://www.darklab.lu.se/.

2 Per approfondimenti sul progetto "Dynamic Collections" si vada quanto scritto in Ekengren, F., Callieri, M., Dininno, D., Berggren, Macheridis, S. & Dell'Unto, N. (2021). Dynamic Collections: A 3D Web Infrastructure for Artifact Engagement. *Open Archaeology*, 7, 337-352. De Gruyter.

una piattaforma online, ad accesso pubblico, dedicata alla visualizzazione e allo studio di modelli 3D provenienti da diversi musei e istituzioni. Quella esperienza è stata utile perché abbiamo appreso che il solo fatto di mettere on line, o rendere fruibili, gli oggetti 3D non era sufficiente. In realtà, quello di cui c'era veramente bisogno era creare degli strumenti per fare in modo che ricercatori e studenti potessero interagire, estrapolare informazioni, in sintesi, creare conoscenza a partire dal dato 3D messo a disposizione.

A partire da queste esperienze didattiche abbiamo esteso il concetto di "collezione digitale" a diversi musei svedesi[3] i cui beni sono confluiti nelle "Dynamic Collections" (https://dyncoll.ht.lu.se/), tutti quanti con profili di condivisione regolati da licenze Creative Commons (CC BY). La piattaforma mette a disposizione di tutti, cittadini, studenti e ricercatori, modelli 3D ad alta risoluzione e (quando possibile) anche i dati grezzi (raw-data), cioè tutti quei dati che sono stati dati utilizzati per creare modelli 3D, al fine di permettere a chiunque di verificare le fonti e i risultati e riutilizzare i modelli come si desidera. Ad esempio, alcuni colleghi archeologi utilizzano la stampa 3D dei modelli provenienti dal progetto "Dynamic Collections" per offrire agli studenti un'esperienza diretta e tangibile: attraverso la riproduzione fisica degli oggetti, è possibile, infatti, comprendere in modo concreto come determinati strumenti, concepiti con specifiche caratteristiche ergonomiche, venissero effettivamente impugnati e utilizzati dalle comunità antiche, nelle pratiche quotidiane.

Attraverso il portale è possibile esplorare i modelli caricati dai musei partecipanti, con la possibilità di analizzarli in dettaglio: l'utente può osservare l'artefatto da diverse prospettive, effettuare misurazioni dirette, creare annotazioni, modificare le condizioni di illuminazione, oppure attivare una visualizzazione ortografica per l'analisi morfologica.

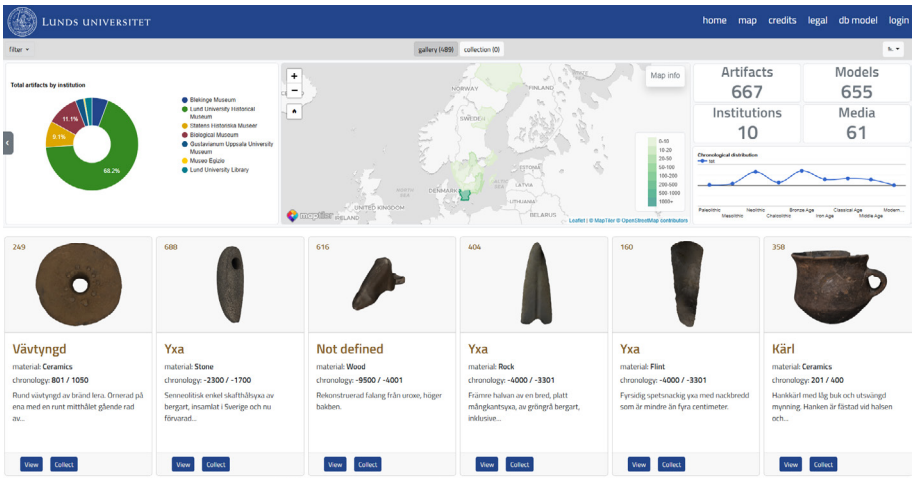
La piattaforma consente inoltre di tracciare disegni e sezioni direttamente sul modello tridimensionale, offrendo così un ambiente interattivo che integra strumenti di osservazione, documentazione e analisi all'interno di un'unica interfaccia.

La piattaforma nasce da una collaborazione con il CNR–ISTI e integra il software 3DHOP, ampiamente utilizzato da numerosi ricercatori e partner del progetto. Uno degli aspetti centrali del sistema è la possibilità di collegare ogni modello 3D al suo contesto museale e scientifico. Ogni artefatto è associato alla sede di conservazione, visibile su una mappa interattiva che consente anche di aprire direttamente il percorso su Google Maps.

A ciascun oggetto sono inoltre connessi metadati descrittivi e cronologici, nonché eventuali documenti di riferimento, come i rapporti archeologici che documentano il contesto di scavo da cui proviene il reperto.

---

[3] Blekinge Museum - Lund University Historical Museum - Statens Historiska Museer - Biological Museum - Gustavianum Uppsala University Museum - Lund University Library.



1 Il portale che ospita le Dynamic Collection dell'università di Lund.

La piattaforma offre anche strumenti di analisi quantitativa: per ogni tipologia di oggetto è possibile visualizzare statistiche comparative che mostrano la distribuzione di manufatti simili – ad esempio ceramiche o utensili litici – conservati in altri musei o collezioni partner.
Un ulteriore aspetto di rilievo della piattaforma è la gestione trasparente dei dati e della proprietà intellettuale attraverso l'assegnazione di un DOI (Digital Object Identifier) a ciascun modello.
Ogni record include i paradati relativi al processo di produzione del modello 3D: sono indicati i nomi di tutti i ricercatori e tecnici coinvolti nelle diverse fasi – dall'acquisizione alla modellazione, fino alla redazione dei metadati – insieme alle relative licenze di utilizzo (es. CC BY).
Il sistema garantisce così la tracciabilità e la citabilità scientifica di ogni contributo. Attraverso il DOI (gestito direttamente dal museo via Zenodo o SND), l'utente può inoltre accedere e scaricare le scansioni originali in alta risoluzione, nel rispetto delle condizioni previste dalla licenza scelta dal museo o dall'autore del dataset, rendendo possibile la replicabilità del modello e la verifica scientifica dei dati.
Nella versione più recente della piattaforma è stata introdotta la possibilità, per ogni museo, di disporre di un proprio account e di una dashboard dedicata, attraverso la quale gestire in modo autonomo e completo i propri dati.
Questa funzionalità, pensata per garantire maggiore controllo e responsabilità ai singoli istituti, rappresenta un passo importante verso una gestione distribuita e sostenibile delle collezioni digitali.
Un risultato particolarmente significativo è l'adozione dell'infrastruttura da parte del Cultural Historical Museum di Oslo, Norvegia, che a partire dal 2027 la implementerà a livello nazionale, nell'ambito di una collaborazione che ha previsto il trasferimento e l'installazione dell'intero software.

Questo passaggio apre la strada a nuove forme di interoperabilità transnazionale, consentendo in futuro – attraverso motori di *harvesting* – di collegare le collezioni svedesi, norvegesi e, prossimamente, anche danesi.
Oltre all'aspetto tecnico, tale sviluppo assume un valore culturale e scientifico: mentre le infrastrutture digitali tendono a rispecchiare le logiche e i confini delle politiche nazionali, piattaforme come "Dynamic Collections" permettono di mettere in evidenza connessioni culturali, attraverso le indagini archeologiche, e di condividerle..
Ad esempio, le regioni meridionali di Norvegia, Svezia e Danimarca mostrano una notevole omogeneità nella cultura materiale, molto più marcata rispetto alle differenze interne tra nord e sud della Svezia. La piattaforma diventa così uno strumento capace di costruire ponti di conoscenza e ricerca oltre i confini amministrativi, favorendo una visione più integrata del patrimonio culturale scandinavo.

Parallelamente allo sviluppo delle "Dynamic Collections", l'Università di Lund ha promosso il progetto AIR – *Archaeological Interactive Reports*[4], realizzato in collaborazione con l'Institut national d'histoire de l'art (INHA) in Francia e sviluppato dalla Dr. Paola Derudas e dal Dr. Federico Nurra.
AIR rappresenta un passo ulteriore verso la digitalizzazione integrale dei processi di documentazione archeologica, offrendo una piattaforma interattiva che gestisce in ambiente 3D i dati provenienti dagli scavi, consentendo la pubblicazione in tempo reale delle informazioni raccolte sul campo.
La sua struttura consente di aggregare, visualizzare e collegare dinamicamente dati eterogenei – rilievi tridimensionali, fotografie, schede stratigrafiche, dati GIS e annotazioni contestuali – in un unico spazio digitale. Ogni elemento può essere navigato tridimensionalmente, interrogato e collegato ad altri oggetti o fonti di riferimento, rendendo possibile una documentazione "viva" dello scavo, continuamente aggiornata e accessibile online a ricercatori e studenti.
Questo approccio introduce un modello innovativo di "*open excavation data*", in cui la pubblicazione scientifica non è più un momento conclusivo, ma un processo continuo di condivisione e aggiornamento.
In questo senso, AIR traduce concretamente la filosofia dell'open science applicata all'archeologia: i dati non solo vengono raccolti e archiviati, ma diventano immediatamente fruibili e riutilizzabili per la ricerca, la formazione e la valorizzazione del patrimonio.

L'adozione del sistema da parte di diversi team di ricerca internazionali conferma l'efficacia di un modello che unisce rigore scientifico, interoperabilità e accessibilità, contribuendo alla creazione di una rete di conoscenza condivisa che supera i confini dei singoli scavi e delle istituzioni coinvolte.

---

[4] https://air.ht.lu.se/s/reports/page/home.

È evidente, quindi, che la questione della proprietà e dell'uso dei dati rivesta un ruolo centrale. Come viene affrontato questo tema nel contesto svedese, o più in generale nel panorama nord-europeo?

Un aspetto cruciale emerso nel contesto dei progetti Dynamic Collections e AIR riguarda la gestione consapevole della proprietà e dell'uso dei dati digitali. Spesso, nel mondo della ricerca, persiste una certa reticenza nel condividere i dati per timore di perderne il controllo o di vederli riutilizzati in modo improprio. Tuttavia, ciò che emerge dall'esperienza del Dark Lab è che il rischio maggiore deriva proprio dall'assenza di regole chiare: non assegnare una licenza o non definire i diritti d'uso significa, di fatto, rinunciare a ogni forma di tutela. L'adozione di licenze aperte ma ben definite – come quelle Creative Commons (es. CC BY) – consente invece di garantire la tracciabilità e la corretta attribuzione degli autori, trasformando la condivisione in un atto di valorizzazione scientifica.
Ogni modello o dataset pubblicato diventa citabile al pari di una pubblicazione accademica, generando riconoscimento e metriche di impatto per i ricercatori che lo hanno prodotto.
Al tempo stesso, la presenza di una licenza esplicita stabilisce limiti e responsabilità giuridiche: chi utilizza i dati in modo scorretto o contrario alle condizioni previste può essere chiamato a risponderne, esattamente come accadrebbe per una violazione del diritto d'autore su una pubblicazione.
In questo modo, la chiarezza non solo favorisce la condivisione e la riusabilità dei dati, ma protegge il lavoro dei ricercatori e contribuisce a creare un ecosistema digitale etico, trasparente e sostenibile per la ricerca archeologica.

Il tema della protezione dei dati rappresenta oggi una delle principali sfide nella gestione delle piattaforme digitali dedicate alla ricerca e alla valorizzazione del patrimonio culturale.
Nel contesto svedese – tra i più rigorosi in Europa per quanto riguarda la tutela della privacy – l'Università di Lund affronta la questione in modo integrato, ponendo l'accento sulla distinzione tra dati personali sensibili e dati scientifici o documentali, come quelli relativi ai modelli 3D o ai dataset di scavo. Il dibattito contemporaneo – promosso da programmi europei come Europeana, e il *Common European Data Space for Cultural Heritage* – evidenzia la necessità di garantire che i dati culturali prodotti da istituzioni pubbliche e centri di ricerca siano aperti, interoperabili e riutilizzabili, secondo i principi FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*).

In questo quadro, l'esperienza dell'Università di Lund offre un esempio avanzato di governance sostenibile dei dati culturali digitali. Attraverso piattaforme come "Dynamic Collections" e AIR – Archaeological Interactive Reports, l'università promuove modelli di gestione in cui il dato 3D non è un semplice prodotto finale, ma un oggetto di conoscenza tracciabile, verificabile e riusabile da parte della comunità scientifica.

Ogni modello o dataset è corredato da metadati normalizzati, licenze chiare di utilizzo (Creative Commons, CC BY) e identificatori persistenti (DOI) che ne assicurano la citabilità accademica e la responsabilità d'autore.

Questo approccio ribalta la logica tradizionale della proprietà del dato: la condivisione non comporta perdita di controllo, ma diventa strumento di riconoscimento scientifico e tutela.
La possibilità di riutilizzare i modelli 3D – per confronti morfologici, analisi metriche o studi comparativi – dipende proprio dalla chiarezza dei protocolli di pubblicazione e dalla trasparenza delle licenze che ne regolano l'uso.
In tal modo, la trasparenza diventa garanzia di qualità e di sostenibilità, favorendo la creazione di un ecosistema aperto in cui la conoscenza è condivisa, ma sempre accompagnata dal rispetto delle attribuzioni e delle condizioni d'uso.

Fondamentale, in questa prospettiva, è il ruolo delle collaborazioni interdisciplinari tra archeologi, informatici, giuristi, bibliotecari digitali e data curators, che insieme definiscono linee guida comuni e standard operativi per la produzione, la descrizione e la conservazione dei modelli 3D.
L'obiettivo non è soltanto tecnico, ma culturale: costruire infrastrutture digitali etiche e durature, in grado di assicurare accesso, interoperabilità e memoria ai dati del patrimonio, trasformandoli in una risorsa pubblica e condivisa per la ricerca europea.

A proposito di infrastrutture digitali, sulla base della vostra esperienza nella progettazione e realizzazione di piattaforme per la condivisione di dati 3D, quali strumenti risultano maggiormente efficaci per la fruizione dei modelli in ambiente web? E quali sono, a vostro avviso, le principali criticità connesse a tale utilizzo? Le dimensioni dei dati, gli standard, la metadatazione o altro?

Le difficoltà principali nella realizzazione di piattaforme per la condivisione dei modelli 3D non sono più di natura tecnica, ma concettuale e normativa. Negli ultimi anni, gli strumenti digitali per la visualizzazione e l'analisi tridimensionale hanno raggiunto un elevato grado di maturità: software come 3DHOP (3D Heritage Online Presenter), sviluppato dal CNR–ISTI, o lo stesso ATON, sviluppato dal CNR ISPC permettono di gestire modelli complessi e ad alta risoluzione direttamente nel browser, offrendo funzionalità avanzate di misurazione, annotazione, sezione e analisi multidisciplinare sul colore, sulle texture sulla "ruvidità" della superficie etc.
Queste soluzioni sono oggi perfettamente integrate nei progetti della Lund University, come Dynamic Collections e AIR, che non si limitano alla semplice esplorazione visiva del modello ma costruiscono ecosistemi informativi conformi agli standard internazionali. Questa adozione sistematica di strumenti e standard interoperabili non è un fatto puramente tecnico: riflette una visione epistemologica precisa. L'obiettivo non è mostrare modelli tridi-

mensionali "spettacolari", ma costruire spazi digitali di conoscenza, dove il dato 3D diventa parte di una rete di informazioni verificabili, collegabili e riutilizzabili nel tempo. In questo senso, la tecnologia – pur essendo matura e affidabile – assume valore proprio perché inserita in un contesto di policy chiare, infrastrutture aperte e licenze trasparenti, che ne garantiscono la sostenibilità e l'impatto scientifico nel lungo periodo.

Prof. Giacomo Landeschi, quanto è importante la condivisione, l'accesso, la disponibilità dei modelli 3D risultato di attività di rilevamento per chi, come voi, vuole intraprendere una ricerca utilizzando la realtà virtuale?

Nel panorama contemporaneo della ricerca archeologica digitale, la condivisione e il riuso dei modelli tridimensionali assumono un ruolo cruciale non solo dal punto di vista tecnico, ma anche epistemologico. La disponibilità di modelli 3D accessibili consente di trasformare questi oggetti digitali in veri e propri strumenti di indagine, aprendo nuove domande di ricerca e supportando metodologie innovative basate sulla realtà virtuale, la simulazione immersiva e l'analisi quantitativa del comportamento umano. Il progetto realizzato in collaborazione con il dott. Danilo Mario Campanaro, ricercatore presso il DarkLab, che riguarda la Casa degli Epigrammi Greci a Pompei costituisce un esempio emblematico di tale approccio. La ricerca ha utilizzato una ricostruzione 3D ad alta fedeltà dell'edificio pompeiano, integrata in un ambiente di realtà virtuale (VR) e combinata con sistemi di eye-tracking e un ambiente GIS tridimensionale[5].

Gli utenti immersi nella simulazione indossavano un visore con tracciamento oculare (in questo caso un HTC Vive Pro Eye) che registrava dati relativi alla loro posizione, al movimento del capo e della testa, alle fissazioni e alle saccadi[6] e ai loro tempi all'interno dello spazio virtuale. Questi dati grezzi sono stati esportati in formato JSON mediante il software Cognitive3D e successivamente importati in un ambiente GIS dopo la trasformazione delle coordinate.

Un aspetto particolarmente rilevante è la scelta di due condizioni di illuminazione differenti: una simulata all'alba del solstizio d'inverno e l'altra a mezzogiorno del solstizio d'estate. Tale configurazione ha consentito di

---

[5] Per approfondimenti si veda quanto scritto in Campanaro, D. M., & Landeschi, G. (2024). Visual Experience in a Pompeian Domestic Space: Analysis Using Virtual Reality–Based Eye Tracking and GIS. *American Journal of Archaeology*, 128(4). https://doi.org/10.1086/731330.

[6] Per fissazioni si intendono i brevi arresti dello sguardo che permettono di elaborare gli stimoli visivi, mentre le saccadi sono i rapidi movimenti (circa 100–200 ms) che spostano lo sguardo da una fissazione all'altra.

indagare come la luce, l'ombra, la distanza dall'osservatore e la prossimità agli elementi pittorici potessero influenzare la percezione visiva e, indirettamente, le pratiche sociali nello spazio domestico.
I risultati mostrano che la "visibilità" in una casa romana non va intesa come una semplice prospettiva statica: gli spazi domestici erano progettati per offrire percorsi visivi dinamici, con viste in movimento, occhio e corpo che si spostavano, fissavano dettagli, ritornavano su altri elementi, e modificavano la loro esperienza in relazione a condizioni ambientali e funzionali.

Dal punto di vista metodologico, ciò mette in evidenza come la trasparenza e l'accessibilità dei modelli 3D siano prerequisiti fondamentali. Senza la possibilità di disporre di un modello documentato, misurabile, scalato e correttamente georeferenziato, non sarebbe stato possibile applicare strumenti complessi come il tracciamento oculare in VR, l'analisi spaziale in GIS e l'esame comparativo dei percorsi visivi. In altre parole: la condivisione dei dati 3D e del workflow adottato è parte integrante della validità scientifica del progetto.

In questo senso, l'accesso aperto ai modelli e ai dataset non rappresenta semplicemente un gesto di trasparenza, ma un passaggio epistemico: la disponibilità consente che altri ricercatori possano replicare il modello, interrogare il workflow, estendere l'analisi su altri gruppi di utenti o condizioni di luce, e integrare ulteriori sensori o dati storici. In questo modo si costruisce una comunità di ricerca che opera secondo i principi dell'open science, della replicabilità e del riuso.

In definitiva, la ricerca dimostra che, per chi vuole intraprendere uno studio basato sulla realtà virtuale e sui modelli 3D, la condivisione, l'accessibilità e la riusabilità dei dati sono essenziali: consentono di passare da un modello digitale fine a sé stesso a un ambiente sperimentale innovativo, capace di analizzare percezione, spazio e comportamento umano.

L'uso dei modelli 3D riveste, quindi, un ruolo fondamentale per la conoscenza storica dei contesti archeologici. Desidera aggiungere ulteriori riflessioni su questo aspetto?

L'impiego di modelli tridimensionali nel campo dell'archeologia non deve essere interpretato come un semplice esercizio di restituzione visiva, ma come uno strumento capace di produrre conoscenza storica. La dimensione tecnica – oggi ormai consolidata – rappresenta solo la base di partenza: l'effettiva utilità di un modello 3D per la ricerca risiede nella sua accuratezza metrica, nella documentazione del processo di creazione e nella possibilità di essere interrogato e annotato da altri studiosi.
A livello tecnologico, i problemi che un tempo limitavano la fruizione dei modelli digitali – come la dimensione dei file, la risoluzione o la capacità di rendering – sono oggi ampiamente superati grazie a piattaforme come

3DHOP o ATON, che gestiscono in modo efficiente modelli di grandi dimensioni mantenendo piena interattività nel web.
Il punto critico non è dunque tecnico, ma concettuale e normativo: comprendere i diritti, i doveri e le politiche di accesso che regolano la creazione e la diffusione dei modelli.
Solo quando questi aspetti sono chiariti – attraverso licenze aperte, metadati completi e regole di attribuzione trasparenti – la condivisione dei dati diventa un processo sostenibile e conforme alle normative internazionali (ad esempio il Copyright Directive 2019/790 e le politiche di open access europeo).
Dal punto di vista della conoscenza storica, l'efficacia del modello 3D dipende dalla sua capacità di trasferire informazione strutturata e verificabile.
Un modello tridimensionale che può essere misurato, sezionato, annotato e correlato ad altre fonti – cartografiche, stratigrafiche o documentarie – diventa uno strumento di ricerca scientifica, capace di supportare nuove ipotesi sull'uso dello spazio, sulla tecnica costruttiva o sui rapporti tra oggetti e contesti.
In questa prospettiva, la rotazione del modello o la semplice esplorazione visiva rappresentano solo la superficie di un processo molto più complesso, in cui il dato tridimensionale è parte di un sistema informativo integrato.

Progetti come "Dynamic Collections" e AIR incarnano esattamente questa logica: il modello 3D non è un artefatto isolato, ma un nodo semantico in una rete di informazioni che include fonti testuali, dati di scavo, coordinate spaziali e metadati.
La misurabilità e la trasparenza del dato garantiscono la possibilità di confrontare risultati, di rivedere interpretazioni e di integrare nuove evidenze nel tempo, facendo del modello non un'immagine finita, ma un ambiente dinamico di conoscenza.

L'utilità storica e archeologica del 3D, quindi, non risiede nella spettacolarizzazione della forma, ma nella capacità di rendere intelligibile il processo che la genera, documentando relazioni, metodi e incertezze.
In questo senso, la ricerca digitale sul patrimonio non si limita a riprodurre il passato: lo rende interrogabile, verificabile e continuamente aggiornabile, trasformando la rappresentazione in uno strumento attivo di conoscenza storica.

ATON Framework

Bruno Fanini
CNR ISPC (Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale)

Parole chiave: Web3D, WebXR, Patrimonio Culturale.

ATON (Fanini *et al.*, 2021) è uno strumento aperto progettato e sviluppato dal CNR ISPC[1] (Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale), nato nel 2015 all'interno di un progetto europeo chiamato ARIADNE[2]. Inizialmente era stato progettato per la fruizione interattiva di paesaggi e terreni 3D su grande scala direttamente da un web browser, integrato all'interno di alcuni servizi cloud (Fanini, Pescarin, Palombini, 2019).
In seguito ai primi risultati, il progetto progredì orientandosi verso altri casi studio, principalmente riferiti al settore archeologico. I successivi avanzamenti lo portarono ad abbracciare alcune funzionalità legate alla resa di materiali complessi – seguendo il modello PBR – (Pharr *et al.*, 2023) e a divenire, nel 2016, uno dei primi strumenti aperti tra le comunità dell'*Heritage Science* a introdurre modalità di fruizione immersiva sul web.
Il contesto fertile sviluppatosi attorno al framework portò, fino al 2020, a successive sperimentazioni e integrazioni in altri progetti di valorizzazione. Proprio in quell'anno, tuttavia, il progetto risentì in maniera consistente dell'archiviazione di alcune librerie da cui dipendeva e fu, conseguentemente, abbandonato (Fanini *et al.*, 2025). Tutte le esperienze e le lezioni apprese nel corso degli anni consentirono comunque di ricostruire ATON da zero, nella attuale versione (3.0). La nuova versione integra nuovi ecosistemi aperti con comunità massive alle spalle, nuovi protocolli di fruizione AR/VR – come WebXR[3] – (MacIntyre & Smith, 2018) e i nuovi standard di *delivery* nel frattempo affermatisi nel panorama Web3D.
ATON è uno strumento che offre la possibilità di accedere e interagire con dati complessi 3D o multi-dimensionali direttamente da un comune web

[1] https://www.ispc.cnr.it/it_it/.
[2] https://www.ariadne-research-infrastructure.eu/.
[3] https://immersiveweb.dev/.



1 Alcuni esempi fruiti interattivamente tramite ATON provenienti da vari progetti citati nel testo, utilizzando alcuni standard internazionali come glTF, 3D Tiles e i nascenti formati per le 3D Gaussian Splats (in basso a sinistra).

browser, senza richiedere installazioni. La fruizione offerta da ATON è "*liquida*", ovvero si adatta automaticamente al dispositivo dell'utente: dai dispositivi *mobile* (come smartphone, tablet), laptop, workstation, fino ad arrivare a dispositivi XR di fascia alta (come Meta Quest). Questo permette ai prodotti realizzati con ATON (applicazioni, esperienze, etc.) una raggiungibilità estremamente elevata.

Oggi ATON[4], reso disponibile all'interno della infrastruttura di Ricerca E-RIHS[5], offre numerose funzionalità e componenti integrati, perfezionati nel corso degli anni attraverso il prezioso feedback di varie comunità scientifiche e i numerosi progetti nazionali e internazionali in cui è stato impiegato. Tra queste funzioni vi sono:

- Strumenti di annotazione semantica avanzati.
- Strumenti di misurazione e sezionamento.
- Supporto a materiali e setup avanzati di illuminazione per il modello o scena 3D. Diverse modalità di navigazione come "orbit", "prima persona" o "device orientation", con gestione avanzata di punti di vista (POV) e vincoli personalizzati di navigazione.Supporto a realtà aumentata (AR)

4 https://aton.ispc.cnr.it/site/.

5 https://www.e-rihs.eu/.

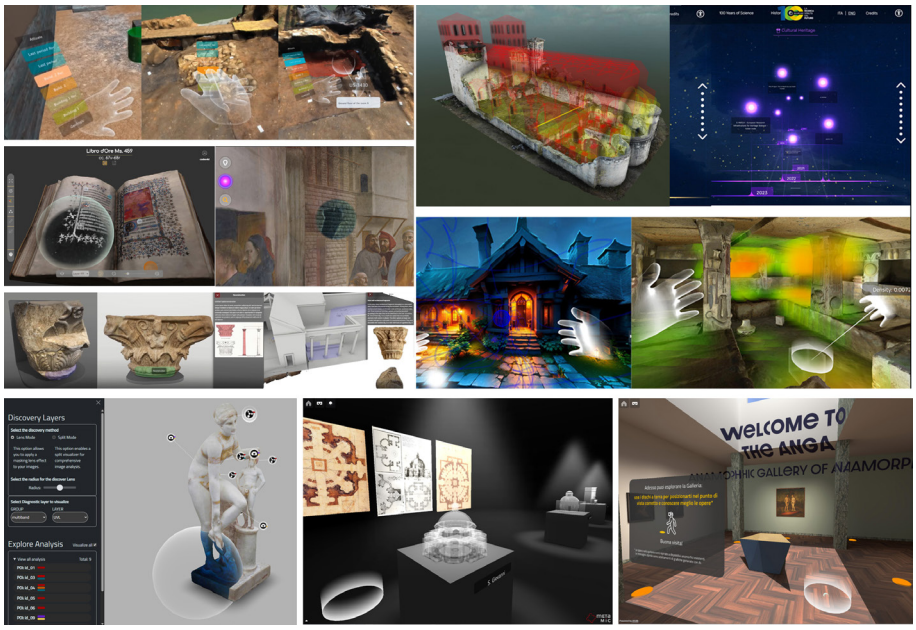
markerless e immersive VR su dispositivi e visori a 3 o 6 gradi di libertà, con interfacce spaziali e supporto a controller/mani per ispezione del modello/scena 3D.
- Gestione di livelli, per contesti multi-dimensionali (es. più periodi temporali, layer scientifici, etc.).
- Supporto a panorami 360 statici o dinamici (video), sia in forma singola che disposti in un network interconnesso navigabile, principalmente orientato alla creazione di virtual tour
- Estrazione automatica di metadati (es. copyright, licenze, etc.) da modelli 3D.
- Strumenti integrati per la collaborazione sincrona, ovvero la possibilità di interagire insieme ad altri partecipanti remoti nello stesso spazio virtuale (repliche digitali, ricostruzioni, etc.).
- Funzioni avanzate di condivisione (generazione dinamica di QR codes, embed in pagine web, etc.).
- Un visualizzatore ed editor 3D integrato ("Hathor") con numerose funzionalità già pronte all'uso e personalizzabili.
- Un'architettura modulare "plug & play" per sviluppare ed erogare rapidamente soluzioni Web3D verticali, personalizzate per domini specifici (con logiche e interfacce specifiche).
- Erogazione scalabile: può adattarsi ad hardware low-cost come *single-board computer* (come, ad esempio, Raspberry Pi[6]), piccoli server di laboratorio, fino a grandi infrastrutture di Ricerca (RI).

La struttura modulare del framework, in generale, permette di utilizzare le funzionalità o i componenti più adatti alle richieste o alle necessità specifiche di progetto, con un forte livello di personalizzazione.
Un aspetto caratterizzante del framework è certamente l'adozione di ecosistemi aperti e standard web internazionali. Tale approccio ha garantito fin dall'inizio una forte interoperabilità e integrazione con altre piattaforme e servizi esistenti.
Tra i formati interoperabili supportati da ATON, infatti, vi è il formato glTF[7] progettato da Khronos: si tratta di uno standard ISO aperto per la trasmissione e la resa efficiente di modelli 3D, oggi ampiamente utilizzato da molteplici realtà e attori internazionali. Tra questi, si citano collezioni open-access come quella dello Smithsonian, l'integrazione nella quasi totalità di piattaforme Web3D (come SketchFab), viewer aperti (come il "Voyager"[8] dello Smithsonian) fino ad arrivare all'integrazione in numerosi software di modellazione (es. Blender, Maya, Rhino, etc.), facilitando i flussi di content-creation. Tale formato interoperabile e riusabile, è stato progettato proprio per il web, ed è

[6] https://www.raspberrypi.com/.
[7] https://www.khronos.org/gltf/.
[8] https://smithsonian.github.io/dpo-voyager/.

al centro di numerose iniziative e miglioramenti tecnologici, soprattutto in termini di estendibilità ed interazione.
Un altro standard internazionale adottato da ATON è il formato "3D Tiles"[9] progettato da Cesium. Si tratta di uno standard OGC[10] per la trasmissione e il rendering di contenuti geospaziali 3D di grandi dimensioni, quali *dataset* fotogrammetrici, nuvole di punti e BIM/CAD. Definisce una struttura dati gerarchica e un insieme di "*tiles*" per i contenuti renderizzabili. Oggi, giunto alla versione 1.1, è utilizzato da grandi attori internazionali (Google, NASA, etc.), integrato in diversi software di fotogrammetria (come Metashape o Reality Scan) e supportato nei principali game engines (es. Unreal Engine, Unity, Godot). Tra le comunità scientifiche di riferimento di ATON, tale formato viene spesso impiegato per visualizzare agilmente *dataset* molto complessi su qualunque dispositivo (grazie a multi-risoluzione) sia di mesh ottenute da fotogrammetria, sia di nuvole di punti di grandi dimensioni. Il supporto a tale formato in ATON è facilitato dalla integrazione di una libreria open[11] sviluppata da NASA/Caltech-JPL (Jet Propulsion Laboratory): questo ha permesso non solo di offrire una serie di funzionalità avanzate di visualizzazione per *dataset* multi-risoluzione, ma anche di favorire una contaminazione reciproca tra i due progetti, contribuendo direttamente alla libreria open realizzata da NASA/JPL.
Il CNR ISPC è, inoltre, membro partecipante del *Metaverse Standard Forum* – MSF – (https://metaverse-standards.org/), un luogo di cooperazione mondiale tra enti, organizzazioni e aziende come, ad esempio, NVIDIA, Microsoft, Meta e Sony, che ha come obiettivo promuovere lo sviluppo di standard interoperabili per un metaverso aperto e inclusivo e accelerarne lo sviluppo e l'implementazione attraverso numerosi progetti pragmatici. Tra i vari tavoli presenti nel MSF vi sono quelli dedicati all'avanzamento di formati standard come glTF e 3D Tiles (alcuni esempi in ATON sono mostrati in figura 1), e quelli focalizzati sulla standardizzazione dei modelli emergenti riferiti alla rappresentazione volumetrica. Proprio su questo fronte, i recenti sforzi internazionali hanno consentito ad ATON di supportare nativamente i formati emergenti per le *3D Gaussian Splat* (Kerbl *et al.*, 2023), ampliando le possibilità di rappresentazione avanzata nel settore delle repliche digitali.
Negli ultimi anni, grazie al fatto di essere modulare e personalizzabile, il framework è stato impiegato da varie comunità per scopi sempre più diversificati, e a volte inaspettati. Accanto ai numerosi progetti nazionali e internazionali focalizzati sulla digitalizzazione dei Beni Culturali che ne hanno sostenuto la crescita, le esigenze emergenti di diverse comunità scientifiche hanno permesso di sperimentare nuove funzionalità e modalità di utilizzo, arricchendo e/o potenziando sia i componenti sia il front-end ufficiale ("*Hathor*") integrati

[9] https://www.ogc.org/standards/3DTiles/.
[10] https://www.ogc.org/.
[11] https://github.com/NASA-AMMOS/3DTilesRendererJS.



2 Alcune applicazioni basate su ATON, sviluppate in progetti nazionali o internazionali (riferimenti in lista).

in ATON. La varietà dei progetti – che hanno coinvolto enti di ricerca, università e accademie, esperti e industrie culturali e creative (ICC) – ha creato un contesto ideale per sperimentare nuove modalità di rappresentazione e di interazione con dati complessi o multidimensionali. Si citano alcuni esempi (fig. 2) realizzati negli ultimi anni:

- Collezioni 3D online e musei virtuali, come il progetto "Vani Virtual Experience"[12] (progetto bilaterale con Georgia) e applicazioni Web3D legate ai digital twin, come il progetto su Ulisse Aldrovandi, sviluppato all'interno del progetto PNRR CHANGES (Collina *et al.*, 2024).
- Applicazioni Web3D per l'esplorazione virtuale di siti archeologici su grande scala, ad esempio il progetto "e-Archeo 3D"[13] (promosso dal MIC e coordinato da Ales) che ha coinvolto 8 siti archeologici diversi (Menconero *et al.* 2024).
- Strumenti semantici Web3D avanzati come "EMviq" (Fanini, Demestrescu *et al.*, 2022), per ispezionare dataset multi-dimensionali, basati su specifici formalismi e database a grafo (Demetrescu, 2015).
- Applied games fruibili in forma di app Web3D o WebXR, per il Patrimonio Culturale (Lo Turco *et al.* 2019, Luigini *et al.* 2020).

---

12 https://www.vanivirtualexperience.com/interactive-experience.

13 https://e-archeo.it/output/.

- Applicazioni Web3D/WebXR per la diagnostica, adottando nuovi modelli per la scoperta interattiva di informazioni invisibili o perse: si citano ad esempio il progetto Brancacci (Ferdani *et al.* 2023, Pescarin *et al.* 2023), il progetto Codex4D (Pietroni *et al.*, 2023) e lo strumento "MuLaX" (Fanini, Massidda *et al.*, 2025), sviluppato all'interno del progetto europeo PERCEIVE[14].
- Applicazioni Web3D di Geofisica.
- Esperienze Web3D multimediali, come "*La Scienza si fa in 100*"[15]: un viaggio multisensoriale nella ricerca scientifica del CNR, realizzata in occasione del centenario CNR.
- Applicazioni Web3D/WebXR per interagire con contenuti generativi sperimentali, tramite AI, come il progetto "/imagine"[16].
- Strumenti Web3D/WebXR avanzati per Visual/Immersive Analytics (Fanini & Gosti, 2024) in grado di visualizzare, ispezionare e studiare interazioni catturate da remoto, in modo collaborativo.
- Applicazioni orientate al settore architetturale, come il progetto PRIN PNRR MetaMic[17] ("*The metaverse of the unbuilt architecture of Michelangelo Buonarroti*"), o il progetto di San Massimo a Forcona (Arrighetti *et al.*, 2024).
- Esplorazione immersiva di anamorfosi sul web (Menconero *et al.* 2025).

Le funzionalità integrate di collaborazione sincrona, si sono inoltre rivelate particolarmente utili in vari progetti di ricerca, e non solo. Durante il periodo della pandemia, ad esempio, tale modello collaborativo ha permesso a più persone di lavorare insieme nella stessa scena 3D, durante alcuni eventi di formazione online. Persone fisicamente molto lontane si sono incontrate virtualmente e – attraverso eventi mirati (gli "HelioSpot") – è stato offerto ai professionisti un insieme di strumenti molto efficace per illustrare, ai gruppi di partecipanti da remoto, alcuni casi di studio (come, ad esempio, la tomba dei rilievi di Cerveteri, il foro di Nora, etc.).

Diversi progetti recenti, come il PRIN PNRR MetaMic già citato, fanno ampio uso di queste funzionalità. In particolare, in questo progetto l'obiettivo è quello di offrire spazi virtuali presentando alcune ipotesi di architetture non realizzate di Michelangelo fornendo una serie di strumenti collaborativi per trasformarli in spazi di discussione e condivisione dell'esperienza. È, questo, un progetto di ricerca fortemente transdisciplinare che coinvolge competenze nei campi della storia e del disegno dell'architettura, del computer design e dell'informatica.

La notevole eterogeneità di questi progetti trova riscontro anche nei diversi canali di supporto dedicati alla crescente comunità del progetto ATON. In

[14] https://perceive-horizon.eu/.

[15] https://explore100.cnr.it/a/100/.

[16] https://aton.ispc.cnr.it/a/imagine/.

[17] https://metamic.it/.

particolare si evidenziano:
- Un sito ufficiale[18] con tutti i riferimenti utili, esempi e documentazione per sviluppatori, tutorial e how-to.
- Un gruppo telegram[19] internazionale di supporto e discussione su nuove funzionalità.
- Scuole di formazione specializzate, corsi hands-on e workshop.
- Call nazionali e internazionali per accesso ad ATON *come servizio*, fornendo supporto tecnico/scientifico ai progetti vincenti. Si citano in particolare le call trans-nazionali (TNA) del progetto H2IOSC[20] e le call di accesso europee di E-RIHS[21].

Di particolare importanza per i recenti avanzamenti di ATON è stato il progetto PNRR H2IOSC[22] (Degl'Innocenti *et al.*, 2023): un progetto che ha l'obiettivo di creare un cluster federato e inclusivo di quattro infrastrutture di ricerca nel campo delle Scienze umane, sociali e del Patrimonio culturale (CLARIN, DARIAH, E-RIHS e OPERAS). All'interno di tale progetto, ATON – offerto dalla infrastruttura di Ricerca E-RIHS – è stato perfezionato ed esposto in forma di servizio, per venire incontro alle crescenti richieste da varie comunità scientifiche e da 5 pilots diversi di H2IOSC basati su tale strumento.

La varietà dei progetti già descritta in precedenza, le richieste di digitalizzazioni massive di Beni Culturali in atto secondo principi FAIR, e le crescenti necessità provenienti da diverse comunità scientifiche, hanno spinto il framework verso nuovi sviluppi. Tali avanzamenti non sono stati puramente tecnici (offrendo ad esempio un maggior livello di integrazione con servizi esterni o cloud esistenti, una nuova interfaccia (Amadei *et al.*, 2025), etc.) ma hanno introdotto nuovi modelli di estensibilità venendo incontro alle necessità diversificate di ricercatori, sviluppatori e Industrie Culturali e Creative (ICC) operativi in vari domini. Il nuovo modello (Fanini *et al.*, 2025) introduce infatti due livelli di estensibilità: orizzontale e verticale.

L'estensibilità verticale, che va a potenziare il già esistente modello delle web-app, permette di creare ed erogare velocemente soluzioni per specifiche necessità o domini (es. architettura, diagnostica, archeologia, etc.) in forma di applicazioni Web3D/WebXR. Negli ultimi anni tale modello è risultato un effettivo *acceleratore* per le Industrie Culturali e Creative, professionisti o ricercatori che avevano necessità di sfruttare le potenzialità di ATON, ma personalizzando logica, interfaccia ed erogazione. È una delle strade più utilizzate in vari progetti di respiro nazionale e soprattutto europeo, per realizzare soluzioni dedicate.

---

[18] https://aton.ispc.cnr.it/site/.
[19] https://t.me/ATON_Framework.
[20] https://www.h2iosc.cnr.it/tna-na-calls/.
[21] https://www.e-rihs.eu/call-for-access/.
[22] https://www.h2iosc.cnr.it.

L'estensibilità orizzontale è invece rappresentata dai plugin (chiamati "flares" in ATON) che permettono di equipaggiare una o più applicazioni Web3D con funzionalità specifiche (es. supporto a formati 3D esterni, componenti di analytics, componenti di autenticazione personalizzati, etc.). Tra questi si menzionano ad esempio:

- Un flare per supportare il formato multi-risoluzione "Nexus", sviluppato da CNR ISTI (Ponchio & Dellepiane, 2016), direttamente in una scena 3D assieme a modelli in formato glTF o panorami, fornendo tutte le funzionalità di annotazione semantica, light probing e presentazione in AR o VR (Fanini *et al.* 2025).
- Un flare per catturare grandi quantità di interazioni in una scena 3D (es. una replica digitale, una ipotesi ricostruttiva o un ambiente virtuale generato tramite AI) permettendo poi di impiegare altri tool Web3D di Analytics per ispezionare e studiare i vari pattern di interazione (Fanini & Gosti, 2024).
- Un componente di controllo remoto realizzato nel progetto PNRR CHANGES, che permette di interagire in tempo reale con applicazioni Web3D remote, con logiche personalizzate.

Tali modelli di estensione seguono una architettura "*plug & play*", offrendo quindi ai *service provider* un meccanismo molto semplice e immediato per personalizzare l'istanza di ATON sul proprio nodo, in base alle esigenze delle comunità di riferimento. L'approccio sta permettendo non solo una crescita nell'adozione del framework, ma anche strumenti di accelerazione orientati a chi intende creare soluzioni ad hoc molto rapidamente in base a specifiche necessità. Permette quindi ai service provider di ridisegnare facilmente i perimetri della propria istanza, affrontando le attuali o future necessità di varie comunità scientifiche di riferimento.

Bibliografia

Amadei C.F., Massidda M., Menconero S., Gosti G., Fanini B. (2025). Early Stage of Community-Driven UI/UX Refactoring of the Open-Source ATON Framework. *Digital Heritage 2025*. The Eurographics Association. https://doi.org/10.2312/dh.20253115

Arrighetti, A., Fanini, B., Ferdani, D., Forgione, A., Lumini, A., Manganelli Del Fà, R., Pescarin, S., and Repole, M. (2024). The Cathedral of San Massimo in Forcona (AQ): Archaeological analysis and integrated digital experiences for VR exploration and site enhancement. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-2/W4-2024, 17-24. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-17-2024

Collina, F., Balzani, R., Barzaghi, S., Bitelli, G., Bonifazi, F., Bordignon, A., Cipriani, L., ... & Vittuari, L. (2024). Saving temporary exhibitions in virtual environments: The Digital Renaissance of Ulisse Aldrovandi–Acquisition and digitisation of cultural heritage objects. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 32, e00309.

Degl'Innocenti, E., Monachini, M., Bucciero, A., Pasini, E., Fanini, B., & Frontini, F. (2023). H2IOSC: Humanities and Heritage Open Science Cloud. *La Memoria Digitale: Forme Del Testo e Organizzazione Della Conoscenza. Atti Del XII Convegno Annuale AIUCD*, 63-64.

Demetrescu, E. (2015). Archaeological stratigraphy as a formal language for virtual reconstruction. Theory and practice. *Journal of Archaeological Science*, 57, 42-55.

Fanini, B., Pescarin, S., & Palombini, A. (2019). A cloud-based architecture for processing and dissemination of 3D landscapes online. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 14, e00100.

Fanini, B., Ferdani, D., Demetrescu, E., Berto, S., & d'Annibale, E. (2021). ATON: An Open-Source Framework for Creating Immersive, Collaborative and Liquid Web-Apps for Cultural Heritage. *Applied Sciences*, 11(22), 11062. https://doi.org/10.3390/app112211062

Fanini, B., Demetrescu, E., Bucciero, A., Chirivi, A., Giuri, F., Ferrari, I., & Delbarba, N. (2022). Building blocks for multi-dimensional WebXR inspection tools targeting cultural heritage. In *International Conference on Extended Reality* (pp. 373-390). Cham: Springer Nature Switzerland.

Fanini, B., & Gosti, G. (2024). A New Generation of Collaborative Immersive Analytics on the Web: Open-Source Services to Capture, Process and Inspect Users' Sessions in 3D Environments. *Future Internet*, 16(5), 147. https://doi.org/10.3390/fi16050147

Fanini B., Gosti G., Amadei C.F., Menconero S. (2025). Shaping a Web3D framework for different scientific communities: ATON as a service in H2IOSC. *Digital Heritage 2025*. The Eurographics Association. https://doi.org/10.2312/dh.20253055

Fanini B., Massidda M., Ferdani D., Bonifazi F., Magrini D., Iannacone R., Barandoni C. (2025). Interactive and immersive discovery of diagnostic processes on multi-layered 3D collections on the web: the MuLaX tool. *Digital Heritage 2025*. https://doi.org/10.2312/dh.20253102

Ferdani, D., Ronchi, D., Fanini, B., Manganelli Del Fà, R., d'Annibale, E., Bordignon, A., & Pescarin, S. (2023). Brancacci chapel in florence: Surveying and real-Time 3d simulation for conservation and communication purposes. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 535-540.

Kerbl, B., Kopanas, G., Leimkühler, T., & Drettakis, G. (2023). 3D Gaussian splatting for real-time radiance field rendering. *ACM Trans. Graph.*, 42(4), 139-1.

Lo Turco, M., Piumatti, P., Calvano, M., Giovannini, E. C., Mafrici, N., Tomalini, A., & Fanini, B. (2019). Interactive Digital Environments for Cultural Heritage and Museums. Building a digital ecosystem to display hidden collections. *Disegnarecon,* 12(23), 7-1.

Luigini, A., Fanini, B., Basso, A., & Basso, D. (2020). Heritage education through serious games. A web-based proposal for primary schools to cope with distance learning. *Vitruvio-International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 5(2), 73-85.

Maclntyre, B., & Smith, T. F. (2018). Thoughts on the Future of WebXR and the Immersive Web. In *2018 IEEE international symposium on mixed and augmented reality adjunct (ISMAR-Adjunct)* (pp. 338-342). IEEE.

Menconero, S., Fanini, B., & Pietroni, E. (2024). The e-Archeo 3D project, an innovative and sustainable cultural proposal based on XR technologies. In A. Giordano, M. Russo, & R. Spallone (Eds.), *Advances in representation: New AI- and XR-driven transdisciplinarity* (pp. 201–216). Springer.

Menconero S., Amadei C.F., Gosti G., Fanini B. (2025). Exploring Anamorphoses in Immersive Virtual Reality on the Web: Design and Challenges of the Anamorphic Gallery of Anamorphoses (AnGA). *Digital Heritage 2025.* The Eurographics Association. https://doi.org/10.2312/dh.20253023

Pescarin, S., Cerato, I., d'Annibale, E., Fanini, B., Ferdani, D., Del Fà, R. M., ... & Ronchi, D. (2023). Hybrid XR Collaborative and Guided Experiences in Cultural Heritage: Brancacci POV Prototype. In A. Bucciero, B. Fanini, H. Graf, S. Pescarin, & S. Rizvic (Eds.), *Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage* (pp. 157–161). The Eurographics Association.

Pharr, M., Jakob, W., & Humphreys, G. (2023). *Physically based rendering: From theory to implementation*. MIT Press.

Pietroni, E., Chirivì, A., Fanini, B., & Bucciero, A. (2023, September). An innovative approach to shape information architecture related to ancient manuscripts, through multi-layered virtual ecosystems. From Codex4D to DataSpace project. In *International Conference on Extended Reality* (pp. 247-267). Cham: Springer Nature Switzerland.

Ponchio, F., & Dellepiane, M. (2016). Multiresolution and fast decompression for optimal web-based rendering. *Graphical Models*, 88, 1-11.

Il web semantico per la conoscenza, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio culturale. L'esperienza di INCEPTION

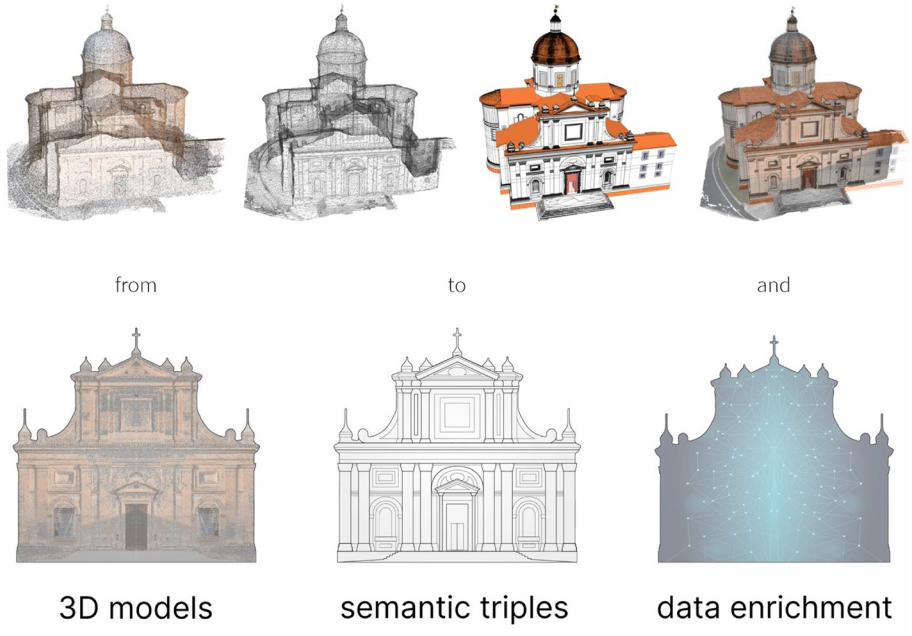
Federica Maietti
Università di Ferrara | Dipartimento di Architettura | INCEPTION Spin off

Parole chiave: rilevamento digitale; HBIM; modellazione semantica; conservazione e valorizzazione.

Il progetto Inception – *Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling*, nasce nel 2014, come candidatura alla call del programma Horizon 2020 (*Advanced 3D modelling for accessing and understanding European cultural assets* nell'ambito del Work Programme *Europe in a changing world – inclusive, innovative and reflective societies*). Il progetto ha costituito l'occasione per mettere a sistema le competenze acquisite fino ad allora dal gruppo di ricerca nel campo della documentazione 3D del patrimonio architettonico, proponendosi di elaborare un avanzamento nella gestione dei dati digitali, non solo a livello di informazioni metrico-morfologiche, ma anche in termini di "conoscenza" aggregata alle geometrie. La call della Commissione Europea era infatti incentrata su concetti chiave molto precisi, quali l'integrazione della semantica al dato tridimensionale e la creazione di condizioni di inclusività e interoperabilità del modelli 3D.
Coordinato dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara e supportato da un consorzio multidisciplinare[1], il progetto si è quindi focalizzato

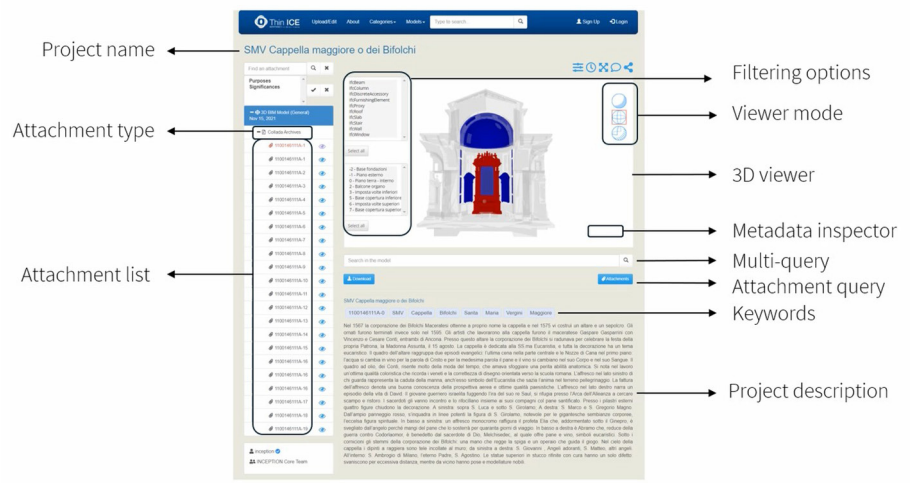
[1] Il progetto INCEPTON è stato sviluppato tra il 2015 e il 2019 da un consorzio di quattordici partner provenienti da dieci paesi europei guidato dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara. I partner accademici, oltre all'istituzione coordinatrice, includono l'Università di Lubiana (Slovenia), la National Technical University di Atene (Grecia), la Cyprus University of Technology (Cipro), l'Università di Zagabria (Croazia), i centri di ricerca Consorzio Futuro in Ricerca (Italia) e Cartif (Spagna). Le piccole e medie coinvolte nel consorzio sono DEMO Consultants BV (Paesi Bassi), 3L Architects (Germania), Nemoris (Italia), RDF (Bulgaria), 13BIS Consulting (Francia), Z+F (Germania), Vision and Business Consultants (Grecia). Ulteriori informazioni sono reperibili nel sito https://www.inception-project.eu/en.

sulla creazione di modelli digitali 3D arricchiti con metadati semantici, per facilitare sia la conservazione sia la valorizzazione del patrimonio culturale.
Tra i risultati più interessanti del progetto, oltre al protocollo di acquisizione dati (Data Acquisition Protocol) (Maietti *et al*., 2020), vi è la piattaforma Inception, un ambiente *open-source web-based* che integra modelli 3D con ontologie semantiche, permettendo l'interoperabilità con altri database e applicazioni.
La piattaforma si basa su un presupposto molto preciso, ovvero l'intenzione di aggregare dati e informazioni alle geometrie digitali, creando nuovi scenari analitici. L'approccio critico-metodologico è stato quindi determinante, traguardando il semplice adattamento delle specifiche esigenze del patrimonio culturale alle tecnologie esistenti ma invertendo il processo, che si è tradotto prioritariamente nella comprensione delle necessità documentative e conoscitive del patrimonio storico-architettonico, per poi sfruttare strumenti tecnologici sempre più avanzati per soddisfarle.
La caratteristica principale della piattaforma è l'utilizzo dei modelli H-BIM (Building Information Modeling applicato al patrimonio), che integrano sia la geometria sia la semantica in un unico ambiente digitale. I modelli BIM includono una struttura informativa che collega la geometria a metadati semantici dettagliati, come risorse archivistiche e documenti storici, interventi di restauro, caratteristiche materico-conservative, ecc.
L'Inception Core Engine (ICE) è il nucleo della scomposizione semantica (ovvero della rappresentazione informativa attraverso "triple" semantiche) (Iadanza *et al*., 2019) per collegare informazioni tangibili e intangibili al modello digitale (fig. 1). Tra le applicazioni derivanti da questo approccio, Thin-ICE (soluzione *cloud-based*) è indirizzata alla gestione, conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale accessibile e inaccessibile, migrata direttamente dai risultati del progetto per la realizzazione di modelli 3D in cui ogni elemento è semanticamente arricchito, per una fruizione informativa e documentale più completa e articolata (Maietti *et al*., 2022).
Thin-ICE consente la fruizione, sia *in situ* sia da remoto, di modelli 3D anche mediante la navigazione immersiva secondo un approccio inclusivo volto ad esplorare la dimensione temporale dell'edificio attraverso una vera e propria "macchina del tempo". Le API (Application Programming Interface) Thin-ICE consentono lo sviluppo di app di Realtà Aumentata (AR) e Realtà Virtuale (VR), mantenendo e utilizzando i dati e la struttura semantica ICE.
La piattaforma contiene strumenti personalizzabili volti a implementare e arricchire ricerche, utilizzare i dati, scaricare e caricare i modelli e favorire l'accessibilità attraverso applicazioni che consentono nuove forme di fruizione da parte di diversi utenti e operatori nel settore dei beni culturali, collegandosi o integrandosi con piattaforme esistenti.
Il sistema si caratterizza per l'uso di standard come l'IFC (Industry Foundation Classes) per la modellazione BIM, l'RDF (Resource Description Framework) come modello di dati per le triple semantiche, e il WebGL per la rappresentazione 3D. L'ICE consiste quindi in un framework di strumenti



1 Schematizzazione delle possibilità di gestione dei modelli 3D e dei dati digitali all'interno della piattaforma INCEPTION, in particolare attraverso la tecnologia ICE (elaborazione grafica Inception).

software e un set di API in grado di trasformare ogni elemento di un modello BIM IFC in triple semantiche, descritte secondo un modello di dati RDF. Queste sono memorizzate in un *triple-store* semantico dedicato e collegate a metadati, documenti e altri dati utilizzando gli standard del web semantico. L'intero sito culturale, o parte di esso, viene quindi riassemblato in un modello 3D, navigabile tramite browser web (HTML5 + WebGL). Un aspetto particolarmente interessante è la possibilità di collegare il modello 3D con altre risorse documentali e esterne (fig. 2).
La piattaforma Inception consente inoltre di visualizzare contemporaneamente sia i modelli texturizzati di oggetti o superfici, che di esplorare gli elementi parametrici, utilizzando i modelli IFC, che rispettano gli standard di condivisione *open source*, combinando le proprietà informative degli oggetti parametrici con le texture delle superfici, sovrapponendole in visualizzazioni ibride.
Questa soluzione permette una gestione versatile e combinata dei dati: non solo è possibile consultare e analizzare le caratteristiche di superficie del modello stesso (materiali, stato conservativo, caratteristiche cromatiche, ecc.), ma anche collegarle a risorse esterne pertinenti. Un approccio che si è dimostrato molto efficace, soprattutto nel facilitare l'interoperabilità e nel promuovere un accesso più inclusivo ai dati complessi relativi al patrimonio culturale.



2 Vista delle diverse funzioni della piattaforma INCEPTION (elaborazione grafica Inception).

L'obiettivo è quindi quello di creare una banca dati conoscitiva che non si limiti alla gestione del dato geometrico, ma che favorisca un'aggregazione di conoscenze interdisciplinari, integrando diversi livelli di documentazione. Questo approccio ha guidato lo sviluppo della piattaforma, scegliendo di orientarsi verso l'arricchimento semantico dei dati piuttosto che sulla visualizzazione e fruizione di oggetti e ambienti digitali. In questo aspetto risiede la principale differenza tra la piattaforma Inception e altre piattaforme create appositamente per la pubblicazione di modelli 3D online e orientate principalmente alla visualizzazione e alla fruizione del patrimonio culturale (Potenziani *et al.*, 2015; Potenziani *et al.*, 2018) o focalizzate sull'archiviazione e la gestione dei dati, inclusa l'esplorazione di ambienti virtuali e il supporto a diverse applicazioni (Fanini *et al.*, 2021), ma con un approccio meno integrato al 3D. Inception punta sull'arricchimento semantico dei dati partendo dalla modellazione parametrica, che incorpora una modellazione informativa specifica. A questa base geometrica è possibile integrare la semantica sotto forma di metadati, documentazione fotografica, diagnostica e altre risorse rilevanti. La caratteristica principale del progetto e della piattaforma consiste nell'unificazione dell'intero processo (rilievo – documentazione – modellazione – aggregazione e arricchimento dei dati), adattandolo alle esigenze dello specifico contesto.
Il progetto si è concluso nel 2019 ed è scaturito in uno Spin off, fondato nel 2020[2], incubato presso l'Università degli Studi di Ferrara, attraverso il quale

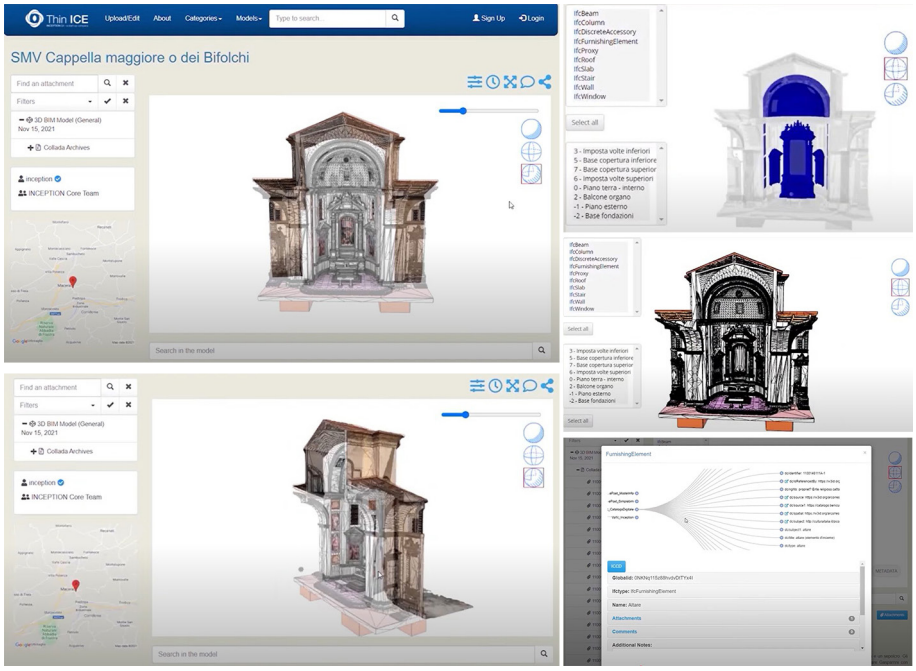
[2] https://www.inceptionspinoff.com/.

sono state sviluppate, e sono in corso, diverse attività di progettazione europea e di collaborazione con enti e istituzioni a livello nazionale e internazionale. Oltre alla partecipazione in qualità di unità partner al progetto Horizon 2020 "4CH - *Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage*" (Piaia *et al.*, 2022), concluso a dicembre 2023, in cui il team di Inception è stato coinvolto per la gestione del coordinamento scientifico, e al progetto "5Dculture - *Deploying and Demonstrating a 3D cultural heritage space*", finanziato nell'ambito del Digital Europe Programme (concluso nel dicembre 2024), Inception è partner del consorzio per lo sviluppo del Common European Data Space for Cultural Heritage, finanziato nell'ambito del programma Digital Europe Programme (DIGITAL).
Immediatamente dopo la conclusione del progetto, Inception è stato coinvolto nella Task Force di Europeana[3] finalizzata all'implementazione del materiale digitale relativo al patrimonio culturale europeo attraverso il caricamento di modelli 3D, iniziativa che ha costituito il punto di partenza del programma Common European Data Space. In questo contesto Inception ha ricoperto specifici ruoli ed è stato coinvolto in tutte le attività correlate all'integrazione del 3D in Europeana, sia a livello di implementazione dell'EDM (Europeana Data Model) che in azioni concrete di sviluppo tecnologico come quelle implementate nel già citato progetto 5DCulture (supporting project del Data Space) dove la piattaforma Inception è stata utilizzata per gestire contenuti archeologici collegando la documentazione già presente in Europeana ai modelli 3D.
Dal progetto 4CH è scaturito il progetto "3D-4CH - *Online competence centre in 3D for Cultural Heritage*"[4], finanziato nell'ambito del programma DIGITAL e avviato nel febbraio del 2025, coordinato da Inception e che vede un consorzio di ventotto partner.
Oltre ad essere coinvolto nei principali progetti e tavoli di lavoro europei sul tema della digitalizzazione, lo Spin off collabora con soggetti nazionali (ICCD – Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione del MIC – Ministero della Cultura) e regionali (Clust-ER Build della Regione Emilia-Romagna, nell'ambito del quale è chair del tavolo di rappresentanza SST3D-4CH incentrato sulle "3D Digitization Technologies" e sulle piattaforme semantic-based, co-chair del gruppo di lavoro "Digital Heritage" del Clust-ER Innovate, Settore Patrimonio Culturale Regione Emilia-Romagna).
Tra le collaborazioni attive con l'ICCD rientrano due casi studio, uno relativo al patrimonio storico-architettonico e uno archeologico, ovvero la chiesa di Santa Maria delle Vergini a Macerata (fig. 3) (Medici *et al.* 2022) e l'insediamento sommerso del Gran Carro di Bolsena (fig. 4), per i quali le attività di documentazione e di rilevamento digitali sono scaturiti nella realizzazione di modelli BIM caricati sulla piattaforma (Sterpin *et al.*, 2024).

---

[3] https://pro.europeana.eu/project/3d-content-in-europeana.

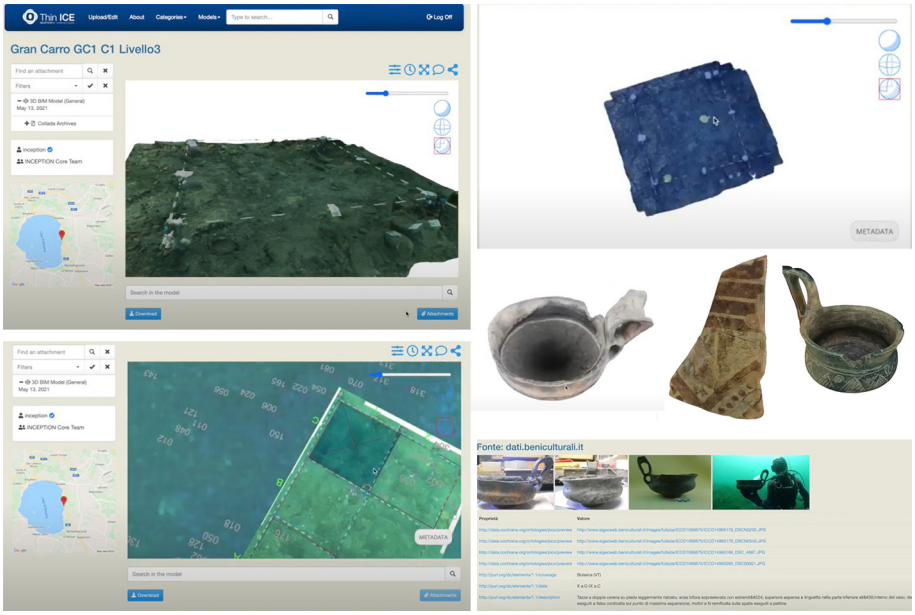
[4] https://www.3d4ch-competencecentre.eu/.



3 Visualizzazioni BIM e ibride con sovrapposizione delle texture del modello della Cappella maggiore o dei Bifolchi, Chiesa di Santa Maria delle Vergini a Macerata, nella piattaforma INCEPTION (elaborazione grafica Inception).

È inoltre in corso di ottimizzazione un visore, applicativo che collega i modelli 3D alle schede ICCD, di cui è possibile vedere una prima applicazione su alcuni oggetti del museo archeologico nazionale di Adria, inclusi anche come caso studio del progetto europeo "XRCulture - *eXplore & Reuse 3D cultural heritage within the Data Space*"[5] (avviato nel febbraio 2025), coordinato da Inception e che vede nel partenariato il MIC attraverso l'istituto ICCD. Adria rappresenta un contesto museale particolarmente significativo tra altri che includono specificamente oggetti con caratteristiche di trasparenza e materiali riflettenti, molto complessi dal punto di vista della digitalizzazione. La collaborazione con l'ICCD prevede anche la possibilità di visualizzare gli oggetti del museo archeologico attraverso modelli 3D collegati alle schede di catalogo.
Il visore sarà ottimizzato nell'ambito del progetto XRCulture, che si configura come proseguimento del progetto 5Dculture ed è anch'esso un *supporting project* del Data Space, e che costituirà l'occasione per ampliare le collaborazioni con altre istituzioni museali.

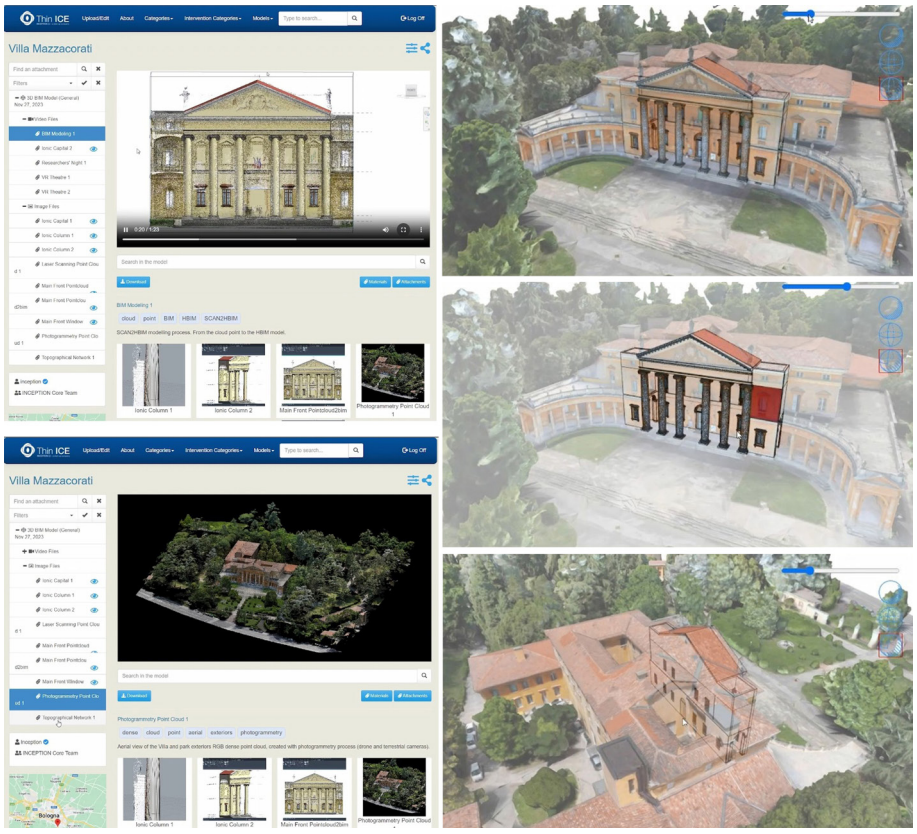
5 https://xrculture.eu/.



4 Viste dei diversi modelli dell'insediamento sommerso del Gran Carro di Bolsena e delle possibilità di esplorazione che la piattaforma offre (elaborazione grafica Inception).

Tra i *supporting project* finanziati e avviati nel febbraio 2025, anche "3D BigDataSpace - *3D Big Data for the Data Space for Cultural Heritage*"[6], coordinato da Time Machine Organisation, Austria, e di cui Inception è partner.
In questo scenario di innovazione risulta evidente come l'H-BIM rappresenti un enorme bacino di ricerca (Parisi *et al.*, 2019), pur risultando un ambiente digitale particolarmente complesso, che stenta a trovare una piena diffusione in determinati contesti (soprattutto al di fuori della ricerca finanziata). In particolare, il potenziale collegato alla possibilità di sfruttare i modelli digitali come base del progetto della conoscenza è straordinario, ma l'effettiva applicazione pratica da parte delle istituzioni rimane una sfida importante. La modellazione parametrica applicata al patrimonio culturale è un ambito di grande interesse che sta generando risultati significativi, soprattutto per quanto riguarda l'aggregazione dei dati, l'interoperabilità e l'uso dell'intelligenza artificiale (Croce *et al.*, 2023; Croce *et al.*, 2021), aspetti che potrebbero contribuire alla qualità degli interventi di conservazione e restauro. Occorre, in ogni caso, avere piena coscienza che nei processi di digitalizzazione, qua-

6 https://3dbigdataspace.eu/.

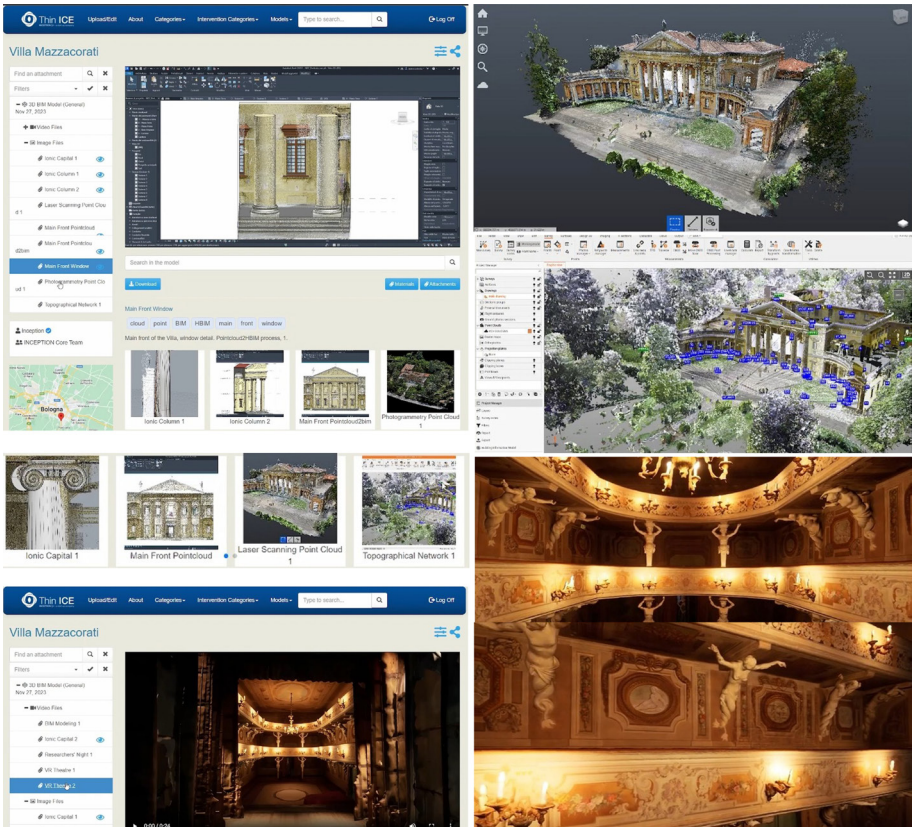


5 Villa Mazzacorati, Bologna. Viste delle diverse risorse digitali caricate nella piattaforma INCEPTION, incluso il modello BIM in tre diverse visualizzazioni che ibridano texture e oggetti parametrici (elaborazione grafica Inception).

lificazione e descrizione dei dati, tutto dipende dagli obiettivi che un determinato processo di documentazione si pone (sia in termini di rilievo, che di modellazione e condivisione dei dati tramite piattaforme). È evidente che la modellazione in ambiente H-BIM ha senso laddove le caratteristiche di accuratezza del rilievo, la scala di rappresentazione, le esigenze di aggregazione dei dati, ecc. siano una necessità. Se l'obiettivo è la creazione di ambienti immersivi o la visualizzazione in AR o VR, o lo storytelling, è evidente che la modellazione parametrica può non essere necessaria (Salonia, 2023). Risulta quindi centrale tradurre la ricerca in strumenti che siano realmente di utilità alle istituzioni, agli enti e ai professionisti che si occupano della salvaguardia del patrimonio culturale, evitando di attribuire allo "strumento" il valore del "metodo".

Attualmente, Inception è coinvolto nell'avvio di un'attività di supporto per la definizione delle Linee guida per la digitalizzazione 3D del patrimonio immobile su incarico della DG-ABAP (Direzione Generale Archeologia, Belle Arti e Paesaggio) come attività congiunta con la Digital Library (Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale). L'obiettivo principale è fornire indicazioni strutturate, basate sull'esperienza acquisita nel progetto europeo "4CH - *Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage*". Tale progetto ha avuto il compito di sviluppare un Competence Center per la conservazione del patrimonio culturale, mettendo a punto linee di indirizzo specifiche per diversi ambiti operativi. Nel caso di Inception, l'attenzione è rivolta a garantire che l'acquisizione dei dati 3D segua parametri definiti e riconosciuti sia a livello nazionale che europeo, favorendo l'uso di formati aperti e metodologie che facilitino la condivisione e l'integrazione delle informazioni.
È fondamentale anche assicurare che queste linee guida siano concrete e utili, tenendo conto delle esigenze pratiche e delle recenti normative sul BIM e sul costruito storico. Il lavoro mira quindi a offrire un importante punto di riferimento per future attività nel campo della documentazione e gestione digitale del patrimonio culturale.
Dal punto di vista dell'acquisizione 3D, il progetto 4CH ha dato origine al già citato progetto europeo 3D-4CH, che ne svilupperà i risultati, estendendoli allo spazio 3D. In particolare, il progetto mira a supportare l'integrazione con il Data Space[7] dedicato al patrimonio culturale. In questo scenario, l'acquisizione dei dati tridimensionali si inserisce in un ecosistema di ricerca che promuove la digitalizzazione, la conservazione e la fruizione del patrimonio culturale attraverso approcci innovativi e interoperabili.
Le attività a livello europeo sono particolarmente interessanti, poiché offrono la possibilità di evolvere gli strumenti e le metodologie sviluppate finora. Oltre a queste iniziative, sono in corso anche collaborazioni con portatori di interesse locali, come quella precedentemente citata con l'ICCD e quella attivata con il Settore Patrimonio Culturale della Regione Emilia-Romagna, nell'ambito della quale è stato realizzato il rilevamento digitale di Villa Mazzacorati a Bologna, inserita tra i casi studio del progetto 4CH.
Le fasi di modellazione di Villa Mazzacorati, caricate sulla piattaforma Inception, includono la nuvola di punti, il modello fotogrammetrico, la rete topografica GPS, il modello H-BIM e la VR per esplorare l'interno del teatro appartenente al complesso della Villa, oltre alle ulteriori risorse aggregate (immagini, video, ecc.). Anche in questo caso, le informazioni sono memo-

[7] Il "Common European data space for cultural heritage" è un progetto dell'Unione europea volto ad accelerare la trasformazione digitale del settore del patrimonio culturale. Comprende infrastrutture, prodotti e strumenti che facilitano la condivisione aperta e affidabile dei dati sul patrimonio culturale in tutta Europa. Per ulteriori approfindimenti <https://www.dataspace-culturalheritage.eu/en>.



6 Villa Mazzacorati, Bologna. Viste del modello a nuvola di punti, della rete topografica, di un dettaglio modellato secondo il processo Scan-to-BIM e delle visualizzazioni VR (elaborazione grafica Inception).

rizzate nel *triple-store* semantico dedicato e collegate a metadati e ad altre risorse esterne (figg. 5, 6).
Inoltre sono state avviate ulteriori attività per recuperare e rendere disponibili online modelli 3D di beni storico-architettonici regionali già digitalizzati in passato. È in fase di pianificazione una campagna di acquisizioni con l'obiettivo di rendere disponibili questi modelli online e creare una specifica galleria nel Data Space.

Bibliografia

Croce, V., Caroti, G., Piemonte, A., De Luca, L., Véron, P. (2023). H-BIM and artificial intelligence: classification of architectural heritage for semi-automatic scan-to-BIM reconstruction. *Sensors*, 23(5), 2497.

Croce, V., Caroti, G., De Luca, L., Jacquot, K., Piemonte, A., Véron, P. (2021). From the Semantic Point Cloud to Heritage-Building Information Modeling: A Semiautomatic Approach Exploiting Machine Learning. *Remote Sensing*, 13, 461.

Fanini, B., Ferdani, D., Demetrescu, E., Berto, S., D'annibale, E. (2021). ATON: An open-source framework for creating immersive, collaborative and liquid web-apps for cultural heritage. *Applied Sciences*, 11(22), 11062.

Iadanza, E., Maietti, F., Ziri, A. E., Di Giulio, R., Medici, M., Ferrari, F., Bonsma, P., and Turillazzi, B. (2019). Semantic Web Technologies Meet BIM for Accessing and Understanding Cultural Heritage. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 381-388.

Maietti, F., Di Giulio, R., Medici, M., Ferrari, F., Ziri, A. E., Turillazzi, B., & Bonsma, P. (2020). Documentation, Processing, and Representation of Architectural Heritage Through 3D Semantic Modelling: The INCEPTION Project. In C. Bolognesi and C. Santagati (eds.), *Impact of Industry 4.0 on Architecture and Cultural Heritage*. Hershey, PA: IGI Global, 202-238.

Maietti, F., Medici, M., Bonsma, P., Lerones, P. M., Ferrari, F. (2022). Digital technologies towards extended and advanced approaches to heritage knowledge and accessibility. In Ugliotti, F.M. and Bolognesi C. (eds.), *Handbook of Research on Implementing Digital Reality and Interactive Technologies to Achieve Society 5.0*. Hershey, PA: IGI Global, 295-317.

Medici, M., Ferrari, F., Sterpin, A. (2022). H-BIM semantico come strumento di documentazione inclusiva e accesso al Nuovo Catalogo Digitale dei Beni Culturali: il caso studio di Santa Maria delle Vergini a Macerata. In Battini, C., Bistagnino, E. (eds.), *DIALOGHI visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione - Congresso della Unione Italiana per il Disegno*. Milano: FrancoAngeli, 2661-2679.

Parisi, P., Turco, M. L., Giovannini, E. C. (2019). The value of knowledge through H-BIM models: historic documentation with a semantic approach. *International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 581-588.

Piaia, E., Maietti, F., Di Giulio, R., Iadanza, E. (2022). ICT and Digital Technologies. The New European Competence Centre for the Preservation and Conservation of Cultural Heritage. In Moropoulou, A., Georgopoulos, A., Doulamis, A., Ioannides, M., and Ronchi, A. (eds.), *Trandisciplinary Multispectral Modelling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage - Second*

International Conference, TMM_CH 2021. Cham: Springer, 125-135.

Potenziani, M., Callieri, M., Dellepiane, M., Corsini, M., Ponchio, F., Scopigno, R. (2015). 3DHOP: 3D heritage online presenter. *Computers & graphics*, 52, 129-141.

Potenziani, M., Callieri, M., Scopigno, R. (2018). Developing and Maintaining a Web 3D Viewer for the CH Community: an Evaluation of the 3DHOP Framework. In Sablatnig, R. and Wimmer, M. (eds.), Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage. Eindhoven: The Eurographics Association, 169-178.

Salonia, P. 2023. Cultural Heritage at Risk: Let's Give Intelligence to our Technologies. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIIIM-2-2023, 1387-1394.

Sterpin, A., Medici, M., Romio, F.A.P. (2024). VPL per SCAN2BIM di volte architettoniche complesse: un approccio multi-software. In Empler, T., Caldarone, A., Fusinetti, A (eds.), *3D Modeling & BIM 2024 - Nuove evoluzioni*. Roma: DEI, 138-153.

Ercolano Digitale.
La nuova piattaforma digitale del Parco Archeologico di Ercolano

Ascanio D'Andrea
Packard Humanities Institute

Simone Marino
Parco Archeologico di Ercolano

Riccardo Montalbano
Parco Archeologico di Ercolano

Parole chiave: Ercolano; catalogazione; digitalizzazione; open data.

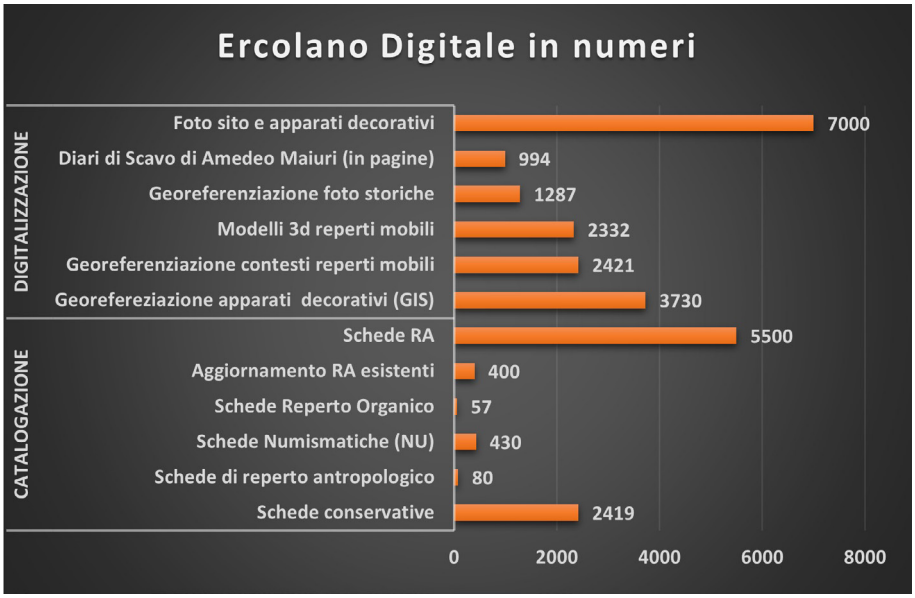
Ercolano Digitale, la nuova piattaforma del Parco Archeologico di Ercolano, nasce nell'ambito del partenariato pubblico-privato tra il Parco Archeologico di Ercolano ed il Packard Humanities Institute (PHI), anche attraverso il suo braccio operativo in Italia, la Fondazione Istituto Packard per i Beni Culturali (IPBC). La realizzazione di *Ercolano Digitale,* a cura del Parco, è stata finanziata nell'ambito del PON "Cultura e Sviluppo" FESR 2014-2020 sulla base di una progettazione del partner privato che ha valorizzato sia la consolidata esperienza maturata nell'ambito della documentazione e gestione dei dati nel sito archeologico di Ercolano in oltre un ventennio di attività sia la sinergia innescata con i colleghi archeologi, conservatori e informatici del nuovo istituto autonomo. Il tutto ha consentito al Parco, in un arco temporale relativamente ristretto, di dotarsi di una vera e propria infrastruttura digitale integrata, in grado di affrontare simultaneamente i temi della conoscenza, della conservazione e della comunicazione. Le finalità generali sono da individuarsi non soltanto nella volontà di arricchire il sistema informativo già in uso presso il Parco per la gestione quotidiana dei dati eterogenei finalizzato alla pianificazione delle attività di conservazione e, più in generale, della manutenzione programmata del sito, ma anche di ridefinire i processi stessi di produzione, organizzazione e utilizzo delle informazioni.
Il progetto nasce per rispondere a un duplice fabbisogno: da un lato innovare le procedure interne di lavoro, attraverso la digitalizzazione massiva, la normalizzazione degli archivi e la riconciliazione dei repertori mobili con i

contesti storici di scavo; dall'altro ampliare la conoscenza e l'accessibilità del patrimonio, sviluppando nuove forme di fruizione e politiche di condivisione dei dati. In questa prospettiva, *Ercolano Digitale* ha inteso creare un'infrastruttura stabile capace di collegare la dimensione scientifica e gestionale a quella comunicativa, garantendo continuità metodologica tra documentazione, ricerca e restituzione pubblica.

La fase di progettazione, avviata nel 2020, è stata preceduta da un ampio lavoro di analisi dei fabbisogni e di definizione delle priorità operative. Il progetto si inseriva in una strategia di innovazione già consolidata, promossa dal Parco Archeologico di Ercolano e PHI-IPBC, che da oltre due decenni sostengono la sperimentazione di tecnologie applicate alla documentazione, alla conservazione e alla gestione dei siti archeologici. Questa impostazione ha permesso di affrontare la progettazione con una visione matura e orientata ai processi, anticipando molti dei principi che sarebbero poi divenuti centrali nel successivo *Piano Nazionale di Digitalizzazione del Patrimonio Culturale* (giugno 2022): interoperabilità tra dati e sistemi, adozione di standard condivisi, produzione di dati riutilizzabili, integrazione tra catalogazione, digitalizzazione e fruizione.

La fase esecutiva di *Ercolano Digitale* si è sviluppata in un arco temporale di circa un anno e mezzo (giugno 2022 – dicembre 2023), con il coinvolgimento di oltre sessanta professionisti tra archeologi con *expertise* diverse, disegnatori, restauratori, informatici, esperti di comunicazione e specialisti GIS e 3D. La compresenza di professionalità diverse e la necessità di procedere in tempi estremamente ridotti hanno imposto un elevato grado di coordinamento e di integrazione tra le attività: una sfida non solo scientifica e metodologica, ma anche logistica e organizzativa. I professionisti ed il personale interno del Parco hanno operato in condizioni di grande complessità, alternando le attività tra il sito archeologico e le aree di lavoro interne, in una filiera che comportava la movimentazione quotidiana di centinaia di reperti da acquisire, catalogare, fotografare e restituire ai depositi (fig. 1). La gestione di questo flusso ha richiesto una direzione operativa costante e una pianificazione accurata di tutte le fasi, garantendo al contempo la sicurezza dei materiali e la qualità dei dati prodotti.

L'approccio metodologico alla base della progettazione si fonda sul principio di continuità tra dati e conoscenza, in linea con il paradigma progressivo che dal dato conduce all'informazione, dall'informazione alla conoscenza e dalla conoscenza alla capacità di interpretazione e decisione. La costruzione del dato è intesa dunque non come un'operazione meramente descrittiva, ma come la prima fase di un processo cognitivo che attraversa analisi, tutela e comunicazione. In questo senso, digitalizzazione e catalogazione non producono semplicemente archivi dematerializzati, ma generano nuove strutture di significato: sistemi in grado di tradurre l'accumulo disorganizzato di dati in informazione strutturata, e la comprensione in azione, orientando strategie di conservazione, gestione e valorizzazione del patrimonio. Tale impostazione metodologica si è tradotta nella definizione di un flusso di lavoro unitario, in



1 I risultati di Ercolano Digitale in cifre.

cui la produzione del dato, la sua verifica, la validazione e la restituzione sono momenti interdipendenti di un unico processo conoscitivo. L'adozione di un linguaggio condiviso e di procedure standardizzate ha reso possibile l'integrazione di informazioni di natura diversa – archeologica, topografica, conservativa e documentaria – in un sistema coerente e continuamente aggiornabile.
Dal punto di vista tecnologico, il cuore del sistema è costituito da un database centralizzato gestito attraverso un *backend* gestionale concepito come ambiente operativo a servizio dei funzionari e del personale interno del Parco. La piattaforma integra in un'unica architettura relazionale gli ambiti informativi necessari alla gestione del patrimonio – inventario, conservazione, documentazione storica, risorse digitali e dati geospaziali – consentendo di connettere in modo coerente dati e informazioni provenienti da domini specialistici differenti. Ogni reperto diviene nodo informativo attorno al quale si organizzano schede, immagini, modelli tridimensionali, valutazioni conservative, *condition report* e riferimenti topografici. Il sistema, che recepisce e aggiorna in modo continuo i dati provenienti dal Catalogo Generale dei Beni Culturali[1], garantisce la loro propagazione automatica verso tutti i canali di fruizione pubblica, dall'applicazione mobile fino alla pubblicazione in open data format attraverso un portale dedicato. In questo modo l'infrastruttura non solo otti-

[1] https://catalogo.beniculturali.it/search?corporatBody=Parco+Archeologico+-di+Ercolano&startPage=12&paging=true&.

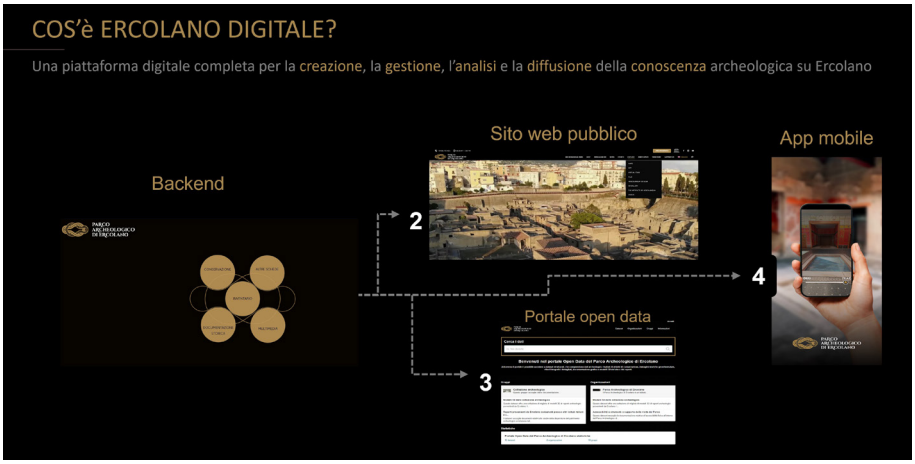
mizza le attività interne di gestione e di documentazione, ma assicura anche l'alimentazione in tempo reale dei servizi di divulgazione, mantenendo coerenza, aggiornamento e qualità scientifica dei contenuti destinati al pubblico (fig. 2).

In questo scenario, la digitalizzazione tridimensionale è stata concepita come parte integrante del processo di conoscenza. Il progetto ha comportato la creazione di un vasto *corpus* di gemelli digitali dei reperti ercolanesi, caratterizzati da una straordinaria varietà di materiali – ori, argenti, vetri, legni carbonizzati, metalli, materiali organici, ceramiche, marmi e pietre – e da una notevole eterogeneità dimensionale e tipologica. Tale diversità ha richiesto un approccio fortemente adattivo, nel quale la scelta della tecnologia di acquisizione è stata calibrata in funzione delle specifiche caratteristiche fisiche e conservative degli oggetti. A seconda dei casi, si è fatto ricorso a sistemi di scansione a luce strutturata, a rilievi laser scanner o a tecniche di fotogrammetria digitale, talvolta in combinazione, integrando metodologie diverse per ottenere un equilibrio ottimale tra accuratezza geometrica, resa cromatica e rispetto delle condizioni materiali dei reperti. Il "cantiere" di digitalizzazione si è quindi trasformato in un vero laboratorio sperimentale, in cui la complessità della materia archeologica ha imposto una continua verifica e revisione dei protocolli di lavoro. Molte delle soluzioni adottate sono infatti nate direttamente nel corso delle attività, come esito di tentativi progressivi e aggiustamenti iterativi che hanno permesso di superare le difficoltà poste ad esempio da morfologie complesse, superfici riflettenti, traslucide o parzialmente deteriorate. Il risultato è costituito da un archivio tridimensionale unitario[2], ma costruito attraverso una pluralità di esperienze operative, capace di restituire in modo coerente la complessità morfologica e materica dei reperti, garantendone al contempo la piena riusabilità a fini di studio, conservazione e valorizzazione.

In parallelo, l'analisi sistematica dei *Diari di Scavo* e dei Giornali dei Lavori, pertinenti al periodo di scavo di Amedeo Maiuri e dei successivi interventi realizzati fino agli inizi degli anni '80 del secolo scorso, ha consentito di ricostruire i contesti originari di rinvenimento dei reperti, attraverso un lavoro di rilettura critica e di correlazione delle informazioni archivistiche con i dati archeologici e topografici noti. Le notizie desunte dai documenti storici sono state integrate e georeferenziate all'interno del Sistema Informativo Geografico del Parco (SIGErc), permettendo di restituire la dimensione spaziale degli scavi e delle scoperte, anche in una prospettiva diacronica. Questo processo ha dunque consentito la restituzione della collezione anche in un'ottica topografica, rinsaldando il legame tra i reperti e i loro contesti di provenienza e trasformando la digitalizzazione in un vero strumento di indagine storica, capace di riannodare le relazioni materiali e documentarie del patrimonio ercolanese.

---

[2] https://ercolano.cultura.gov.it/gallery-3d/.



2 Il flusso informativo: dal backend gestionale ai servizi di fruizione.

Alla documentazione tridimensionale si è affiancata una campagna fotografica estensiva, condotta su tutti gli ambienti del sito e sugli apparati decorativi (oltre 7000 nuove fotografie in altissima risoluzione), comprendendo pavimenti, pitture parietali, stucchi e mosaici. Gli apparati decorativi sono stati oggetto anche di specifici approfondimenti di carattere conservativo, finalizzati a registrare lo stato di conservazione e a documentare fenomeni di degrado e interventi pregressi. Tutta la nuova informazione prodotta è stata integrata nel sistema informativo e collegata alla nomenclatura e alla codifica dello spazio urbano, così come definita nel *Catasto Urbano* dell'antica Ercolano[3].
Parallelamente è stata avviata una ricognizione conoscitiva presso musei e istituzioni nazionali e internazionali, che ha permesso di censire e schedare digitalmente centinaia di reperti provenienti da Ercolano oggi conservati in altre collezioni. Questa attività ha consentito di ricomporre virtualmente la "diaspora" dei reperti ercolanesi, creando i presupposti per future collaborazioni istituzionali e per la restituzione digitale di un patrimonio disperso ma ancora organicamente leggibile.
La digitalizzazione, per quanto estensiva, sarebbe rimasta un'operazione parziale se non accompagnata da un processo descrittivo capace di restituire la complessità conoscitiva dei reperti. Per questo motivo, fulcro centrale del progetto è stata la campagna di catalogazione massiva dell'intera collezione del Parco, concepita come complemento necessario alla produzione dei dati digitali (fig. 1). L'azione di catalogazione ha interessato quasi seimila reperti mobili, oggetto di approfondimenti specialistici attraverso l'uso di standard

[3] https://opendata-ercolano.cultura.gov.it/dataset/catasto-urbano-di-ercolano.

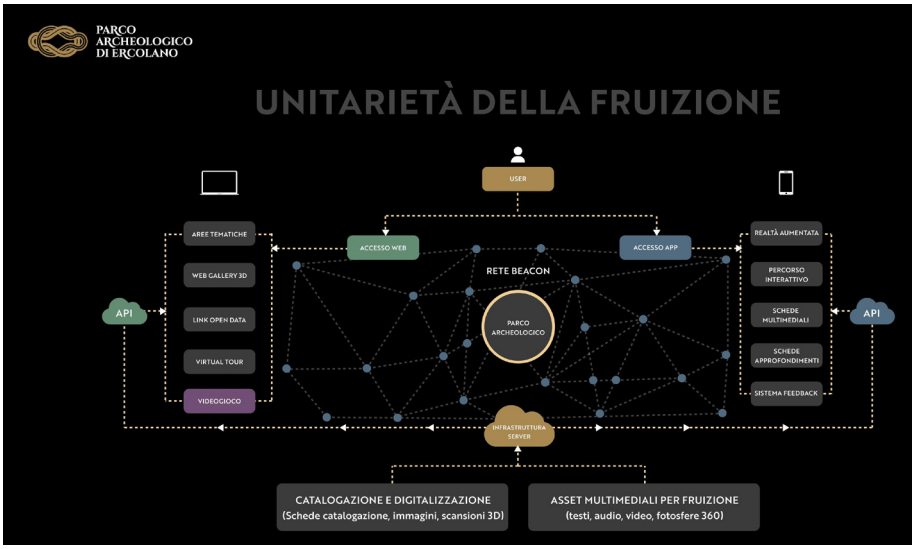
ICCD (RA, NU, AT) e di modelli *site-specific* elaborati *ad hoc* (schede conservative e schede di reperto organico). Accanto a queste operazioni, è stato condotto un censimento sistematico dei materiali attualmente conservati in vari depositi del sito archeologico, oggetto di una schedatura speditiva e di una prima geolocalizzazione, finalizzate a integrare nel sistema informativo anche i reperti non ancora oggetto di documentazione analitica. L'integrazione tra digitalizzazione e catalogazione ha permesso di costruire un *corpus* coerente, nel quale ogni elemento – fisico o digitale – è inserito in una rete di relazioni semantiche e topografiche, restituendo per la prima volta una visione unitaria del patrimonio ercolanese.

La fase di restituzione e comunicazione ha rappresentato uno degli ambiti più innovativi del progetto, concepita fin dall'inizio come parte integrante del sistema e non come semplice esito divulgativo. L'obiettivo era quello di tradurre la complessità dei dati raccolti in strumenti di conoscenza accessibili, mantenendo coerenza scientifica e qualità informativa. In questo senso, la fruizione è stata progettata come estensione della ricerca e della documentazione, una traduzione del dato in esperienza, secondo una logica di continuità tra produzione, analisi e comunicazione. Il punto di partenza è stato il riconoscimento della pluralità dei pubblici e delle relative esigenze: dal ricercatore, che necessita di accesso strutturato ai *dataset* e ai relativi metadati, al visitatore generalista, che privilegia percorsi narrativi e contenuti esperienziali. La progettazione ha quindi mirato a costruire un sistema inclusivo e flessibile, capace di adattare linguaggi e livelli di approfondimento a differenti profili di utenza, senza sacrificare la coerenza metodologica. Le soluzioni di fruizione sono state articolate in due macroambiti complementari: *onsite* e *offsite*, secondo un principio di reciprocità. L'obiettivo non era produrre strumenti separati, ma generare un ecosistema coerente di accesso alla conoscenza, basato su un'unica infrastruttura informativa e su un comune impianto informativo (fig. 3).

La fruizione *onsite*, ovvero in presenza presso il sito archeologico, si concretizza nella nuova App mobile ufficiale del Parco, concepita come estensione cognitiva del sito archeologico[4]. L'applicazione, sviluppata per dispositivi iOS e Android in nove lingue, utilizza un sistema di geolocalizzazione che attiva automaticamente i contenuti in base alla posizione dell'utente. Una rete di beacon Bluetooth Low Energy, distribuita lungo i percorsi, permette di riconoscere la prossimità a domus, ambienti o reperti e di proporre contenuti contestuali – schede informative, immagini, modelli 3D, scene VR, audio, video e approfondimenti tematici.

L'App si distingue per un'impostazione narrativa dinamica: oltre a proporre percorsi standard di visita, segnala all'utente, durante il tragitto, approfondimenti pertinenti alla sua posizione, che possono riguardare aspetti descrittivi, storici, architettonici o collegamenti con reperti conservati nei depositi. L'e-

[4] https://ercolano.cultura.gov.it/app/.



3 La progettazione della fruizione.

sperienza si adatta quindi al movimento nel sito, permettendo di integrare il percorso principale con contenuti tematici e contestuali secondo le preferenze del visitatore. Tutti i contenuti derivano dal sistema informativo del Parco e mantengono un collegamento diretto con il *backend* gestionale deputato alla gestione delle schede catalografiche originali, garantendo coerenza scientifica e aggiornamento continuo. La filosofia progettuale alla base dell'app è stata quella di accompagnare la visita, non di sostituirla: gli approfondimenti si attivano in modo discreto e selettivo, offrendo informazioni puntuali e connessioni utili, senza interferire con la percezione diretta del sito, che rimane centrale nell'esperienza complessiva.

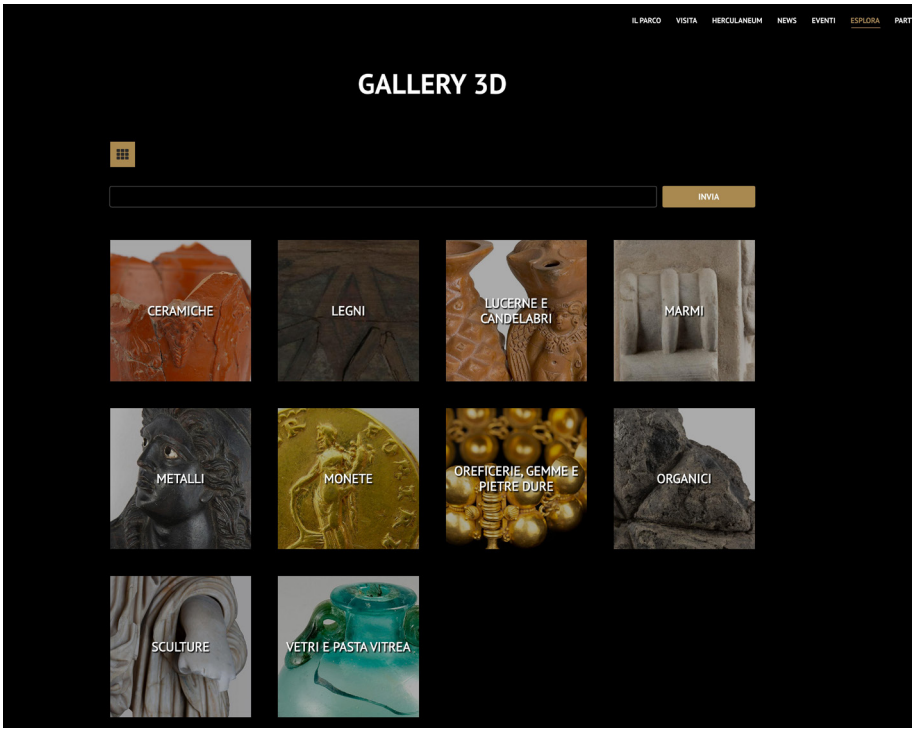
Al contrario, la fruizione *offsite* estende la conoscenza del sito al di fuori del perimetro fisico, creando un *continuum* tra esperienza in presenza e accesso remoto. Il nuovo portale web del Parco raccoglie e connette un insieme coordinato di strumenti digitali che traducono i dati del sistema informativo in esperienze di consultazione e approfondimento accessibili a pubblici diversi (fig. 4). Il *virtual tour*, disponibile in nove lingue, offre un percorso narrativo dell'intero sito, costruito mediante riprese a 360° e hotspot informativi che arricchiscono la comprensione degli ambienti[5]. A questo si affianca *Herculaneum 3D Scan*[6], un archivio navigabile che rende disponibili le nuvole di punti 3D relative ai principali contesti archeologici,

[5] https://ercolano.cultura.gov.it/virtual-tour/.

[6] https://ercolano.cultura.gov.it/herculaneum-3d-scan/.



4 Il nuovo sito ufficiale del Parco.



5 La *gallery* dei modelli 3d

permettendo di esplorare in dettaglio architetture e superfici con strumenti di misura e visualizzazione avanzati. La *web gallery 3D*[7] consente invece di interagire con i modelli tridimensionali dei reperti tramite funzioni di rotazione, zoom, comparazione (fig. 5). In parallelo, la *gallery immagini* raccoglie fotografie in alta definizione dei reperti[8], anch'esse collegate alle relative schede, offrendo un accesso immediato all'apparato iconografico del Parco. Completa l'offerta il videogioco *Lost in Herculaneum*, pensato per introdurre il pubblico più giovane alla quotidianità della città antica attraverso ricostruzioni e storie legate all'antica Ercolano[9].

Nel loro insieme, questi strumenti definiscono un modello integrato di comunicazione del patrimonio, fondato sulla coerenza dei contenuti e sulla diversificazione delle modalità di accesso. La progettazione della fruizione digitale è stata orientata a costruire un sistema capace di rendere i dati scientifici disponibili attraverso forme narrative differenti, senza generare frammentazioni. Ne è derivata un'architettura unitaria in cui linguaggi e supporti diversi – dalla consultazione analitica ai prodotti immersivi – sono stati pensati come declinazioni di una stessa base informativa e della stessa visione interpretativa del sito. In questo quadro, la tecnologia non svolge un ruolo accessorio, ma funge da mediatore tra l'esperienza del visitatore e la struttura conoscitiva sottostante, consentendo un accesso progressivo ai contenuti e una partecipazione calibrata ai diversi livelli di complessità. Ogni componente, dal database al videogioco, contribuisce così a costruire una narrazione coerente del sito, adattabile ai diversi pubblici ma fondata su un impianto scientifico comune.

Il portale open data[10], *last but not least*, rappresenta la naturale evoluzione del progetto e ne incarna la dimensione più strategica (fig. 6). Non semplice strumento di pubblicazione, ma una piattaforma di conoscenza fondata sull'adozione di protocolli informatici standard e su principi di interoperabilità e riuso dei dati. La sua creazione risponde alla volontà di rendere pubblici, tracciabili e aggiornabili i risultati delle attività di ricerca e di documentazione, trasformando il patrimonio informativo del Parco in una risorsa condivisa. Il portale ospita oggi un insieme articolato di *dataset* che restituiscono la complessità e la varietà delle attività svolte – dalla digitalizzazione dei reperti e delle strutture alla documentazione storica e territoriale – offrendo una visione integrata del patrimonio archeologico di Ercolano. Questo ambiente non si limita a diffondere i dati, ma li colloca in una prospettiva di accesso aperto[11] e di collaborazione istituzionale, configurando il Parco Archeologico di Ercolano come un laboratorio permanente di innovazione e come attivatore e catalizzatore di nuove esperienze di conoscenza, ricerca e partecipazione culturale.

---

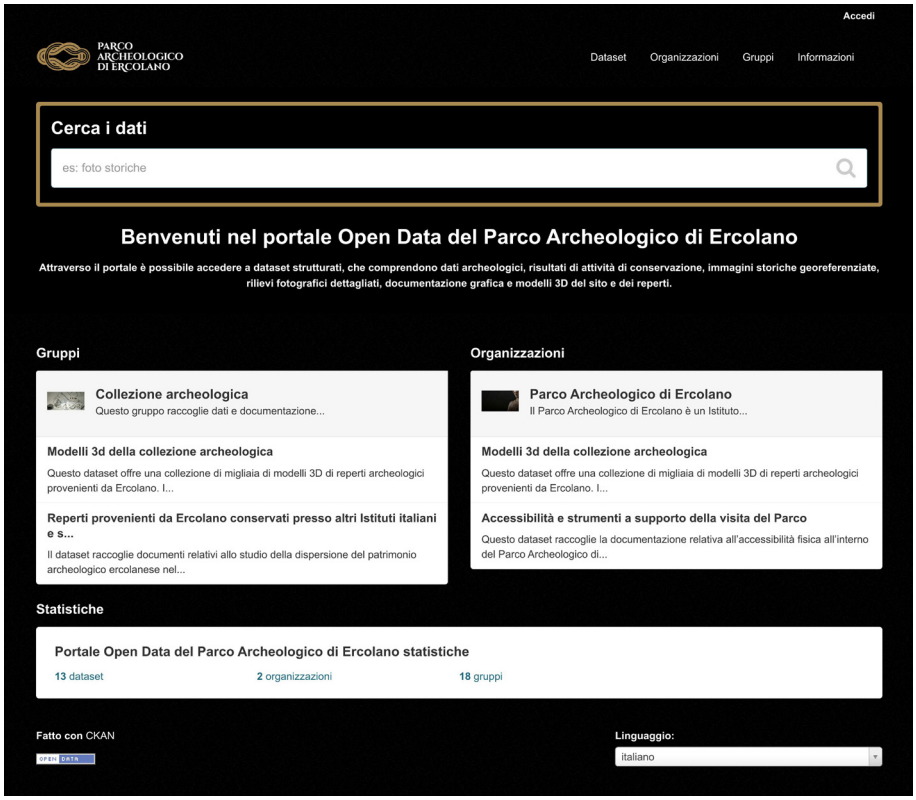
7 https://ercolano.cultura.gov.it/gallery-3d/.

8 https://ercolano.cultura.gov.it/gallery-image/.

9 https://ercolano.cultura.gov.it/gioca/.

10 https://opendata-ercolano.cultura.gov.it/.

11 Beni Culturali Standard (BCS) - https://www.dati.gov.it/vocab/BCS/1.0.



6 Il nuovo portale open data CKAN.

Ercolano Digitale non costituisce un traguardo conclusivo, ma il punto di avvio di una fase nuova. Le sfide che si delineano riguardano l'evoluzione delle modalità di gestione dei dati, la cura e l'aggiornamento delle infrastrutture tecnologiche e l'investimento continuo nelle competenze del personale, in un contesto tecnologico segnato da rapidissima obsolescenza e da un'accelerazione costante dei processi digitali. Garantire la sostenibilità nel tempo – soprattutto quando si sarà definitivamente esaurita la spinta propulsiva del PNRR – richiederà la capacità di adattare procedure, standard e modelli organizzativi, mantenendo al contempo la solidità scientifica dei contenuti. In questa prospettiva, lo sforzo sarà quello di continuare ad alimentare *Ercolano Digitale*, rendendolo un contenitore aperto e incrementale destinato a evolvere insieme al patrimonio che rappresenta (fig. 7) e alle esigenze di conoscenza e fruizione delle comunità che lo attraversano.



7 Panoramica del sito archeologico di Ercolano (foto di P. Metelli per Parco Archeologico di Ercolano).

3.

Open Data e Linked Open Data

Introduzione

Marialuisa Mongelli

La sezione "Open data e linked open data" affronta un nodo cruciale per lo sviluppo delle politiche di digitalizzazione del patrimonio culturale: garantire che dati e contenuti digitali (inclusi modelli 3D complessi) siano realmente accessibili, interoperabili e riutilizzabili, evitando che la trasformazione digitale si esaurisca nella sola produzione di nuovi oggetti informativi. I contributi raccolti seguono un percorso coerente: dall'inquadramento istituzionale e infrastrutturale del Catalogo nazionale, alla formalizzazione semantica che rende praticabile l'apertura dei dati, fino alle condizioni giuridiche che possono abilitarlao limitarla. Il primo testo è un'intervista all'architetto Carlo Birrozzi, Direttore dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD), organo del Ministero della Cultura con autonomia scientifica e amministrativa, responsabile dello sviluppo e della gestione del Catalogo generale dei beni culturali. Carlo Birrozzi ricostruisce le ragioni che spingono il Catalogo a superare una logica "per schede" intese come unità informative chiuse, promuovendo invece un modello relazionale in cui beni, contesti, eventi e fonti siano intrinsecamente interconnessi. In questa prospettiva, il Nuovo Sistema del Catalogo Nazionale (CLIO) è presentato come un processo di riorganizzazione della conoscenza, fondato su criteri più omogenei di descrizione, su pratiche di aggiornamento più controllabili e su una maggiore estensione dell'accesso e dei soggetti coinvolti nella produzione del dato. Ciò è particolarmente rilevante perché permette di leggere la catalogazione non come riduzione della complessità dentro ad una scheda unica e definitiva, ma come costruzione di un sistema capace di rendere componibili descrizioni diverse senza perdere continuità semantica. Il superamento della scheda come tracciato disciplinare chiuso apre infatti a una struttura più flessibile, nella quale il bene può essere identificato attraverso un nucleo descrittivo essenziale, sufficiente a definirne la cornice di senso, mentre ulteriori livelli informativi possono essere aggiunti in rapporto alla natura dell'oggetto, alla qualità

delle fonti disponibili e alle finalità della catalogazione. In questo modo il Catalogo non rinuncia alla normalizzazione, ma la interpreta come condizione per mettere in relazione informazioni prodotte in contesti differenti, evitando che ogni descrizione resti isolata entro il proprio formato. Questa impostazione risulta particolarmente utile nel caso delle copie digitali 3D dei beni culturali. Oggetti appartenenti a mondi diversi, storico artistico da un lato e digitale dall'altro, possono sfruttare la stessa scheda di catalogo intesa come il risultato di una composizione controllata di moduli diversi grazie alla quale ogni ambito disciplinare costruisce le proprie descrizioni all'interno della stessa logica semantica. Un passaggio centrale riguarda l'adozione dell'ontologia ArCo e dei Linked Open Data, che rendono tecnicamente possibile la costruzione di legami espliciti tra informazioni e l'interrogazione trasversale dei contenuti. In modo significativo, l'intervista mette in evidenza anche l'integrazione della dimensione spaziale (cartografia e geometrie che rendano riconoscibile il bene) e il rapporto con altri grandi patrimoni documentari dell'Istituto (Fototeca e Aerofototeca), delineando un ecosistema informativo in cui l'apertura non coincide con la mera pubblicazione, ma con la capacità di rendere il dato verificabile, connesso e utile ai processi di tutela. Il secondo contributo, "L'ontologia ArCo", firmato da Margherita Porena, definisce la cornice teorico-metodologica e tecnica che sostiene l'apertura dei dati del Catalogo al web semantico. Porena descrive ArCo come un'iniziativa al tempo stesso progettuale e infrastrutturale: un ecosistema di ontologie modulari e un knowledge graph, nato dall'esigenza dell'ICCD di rendere pubblici e condivisibili i dati derivanti da attività finanziate con fondi pubblici, secondo un principio di trasparenza e di promozione della ricerca e dell'innovazione. Particolare attenzione è dedicata alle scelte di modellazione basate su un approccio bottom-up guidato dall'analisi empirica delle schede e delle normative ICCD, l'uso di pattern ontologici per garantire coerenza e riuso, e l'applicazione della metodologia XD– eXtreme Design per uno sviluppo iterativo e modulare. Il testo esplicita inoltre l'attenzione all'integrazione con ontologie di riferimento nazionali (OntoPiA/AgID) e con basi di conoscenza esterne (ad es. DBpedia o Wikidata), chiarendo le modalità di accesso ai dati: da un lato il portale per l'utenza generalista, dall'altro lo SPARQL endpoint per interrogazioni avanzate a beneficio della comunità scientifica. In questa cornice, i dati quantitativi richiamati sottolineano la scala dell'infrastruttura e il carattere strutturale, e non sperimentale, del progetto. Il contributo di Francesca Vessia, "Problematiche giuridiche dei modelli 3D", introduce un punto di vista complementare: l'apertura dei dati e dei contenuti digitali non può essere considerata solo un esito tecnico o organizzativo, ma deve misurarsi con un quadro di diritti, autorizzazioni e regole di riuso. Il testo affronta, in sequenza, la natura giuridica dei modelli 3D (in particolare la questione della creatività e della tutela autoriale), la titolarità e l'esercizio dei diritti di utilizzazione, i limiti e le condizioni di acquisizione delle immagini necessarie alla generazione dei modelli, e infine la possibilità o necessità di condivisione in forma di open data quando la produzione dei modelli 3D è finanziata con

fondi pubblici o detenuta da enti pubblici. Vengono discussi sia il quadro nazionale sulle riproduzioni dei beni culturali sia la normativa europea sul riuso dell'informazione del settore pubblico, mettendo in luce eccezioni e specificità che incidono direttamente sulla praticabilità dell'open access per i contenuti culturali. Ne deriva che politiche realmente "open" richiedono non solo infrastrutture adeguate, ma anche chiarimenti procedurali, definizioni condivise (ad esempio tra riproduzioni "fedeli" e opere con apporto creativo) e una governance consapevole delle implicazioni giuridiche e istituzionali. Nel loro insieme, i tre contributi compongono una lettura integrata: l'apertura dei dati del patrimonio culturale emerge come processo multilivello, in cui l'indirizzo istituzionale (Catalogo/CLIO), la formalizzazione semantica (ArCo) e la disciplina del riuso (diritto d'autore, riproduzioni, open data) devono convergere. In tale quadro, "open" non significa solo "online", ma dati comprensibili, interrogabili, collegabili e legittimamente riutilizzabili, capaci di sostenere ricerca, tutela e innovazione.

Intervista a Carlo BIrrozzi

Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione - MiC

L'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD), organo del Ministero della Cultura con autonomia scientifica e amministrativa, fa capo alla Direzione Generale Archeologia, Belle Arti e Paesaggio (DG ABAP). La sua missione è promuovere e coordinare attività di catalogazione, digitalizzazione, valorizzazione e documentazione dei beni archeologici, architettonici, storici, artistici ed etnoantropologici, in collaborazione con istituti di ricerca nazionali e internazionali, secondo gli indirizzi della DG ABAP.
L'Istituto sviluppa e gestisce il Catalogo generale dei beni culturali, infrastruttura di riferimento per la conoscenza e la conservazione del patrimonio culturale italiano, attraverso l'elaborazione e l'applicazione di normative e standard nazionali, nonché la produzione di strumenti terminologici condivisi che ne assicurano l'uniformità. Tutte le attività di digitalizzazione previste dal PNRR attualmente in corso, comprese le copie 3D dei beni culturali, confluiranno in questo sistema. Abbiamo, quindi, chiesto al Direttore dell'Istituto, architetto Carlo Birrozzi, di parlarci del Catalogo, della sua evoluzione nel tempo, delle trasformazioni messe in atto sotto la sua guida e delle prospettive di integrazione dei dati 3D nel sistema nazionale di documentazione del patrimonio. In particolare, siamo interessati a conoscere in quale modo l'introduzione del progetto CLIO stia cambiando il Catalogo dei beni culturali che l'Istituto sta mettendo a punto.

Chi mi conosce e ha presente il mio curriculum sa che provengo soprattutto dal lavoro sui monumenti e dal mondo del restauro: sono cresciuto, per così dire, "sul campo", tra cantieri, rilievi e interventi sul costruito storico. Per questo, rispetto ai temi della cultura digitale, mi sono sempre sentito in un ambito diverso, quasi laterale. E anche la catalogazione, lo ammetto, per molto tempo è rimasta sullo sfondo nel mio percorso: non perché non fosse importante, ma perché nella pratica quotidiana ho lavorato di più su interventi di conservazione. L'esperienza del terremoto nelle Marche, tra il 2016 e il 2019, però, ha cambiato radicalmente le priorità e mi ha costretto a rimettere a fuoco ciò che conta davvero. In quei momenti ho capito quanto sia centrale disporre di una conoscenza preventiva: sapere prima cosa abbiamo, dove si trova, in che condizioni è, quali vulnerabilità presenta. E ho compreso quanto la possibilità di gestire un patrimonio informativo organizzato, aggiornato e realmente utilizzabile faccia la differenza, soprattutto quando serve agire rapidamente. Perché nell'emergenza non si può improvvisare: se i dati non esistono, non sono affidabili o non sono accessibili, si perde tempo prezioso ed efficacia. È lì che ho visto con chiarezza che il patrimonio informativo non è un tema "tecnico", ma una componente

essenziale della tutela. Questa consapevolezza mi ha accompagnato all'arrivo presso l'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione. Abbiamo, quindi, avviato la revisione di uno strumento costruito nel tempo, stratificato e fondato su principi che non sempre risultavano pienamente aderenti alle esigenze operative degli Istituti territoriali del Ministero della Cultura. Tra le questioni considerate prioritarie è emersa la necessità di sistematizzare la conoscenza: il patrimonio informativo gestito dal catalogo presentava, infatti, caratteri di discontinuità e frammentazione, senza un'impostazione stabile di selezione, lettura e studio del territorio capace di restituire un quadro strutturato e comparabile del patrimonio storico. L'assenza di organicità nell'archiviazione dei dati a disposizione, analogamente a quanto talvolta accade nei processi di tutela, produceva un'immagine parziale del patrimonio schedato, difficilmente governabile e poco efficace come base per assumere decisioni e avviare una programmazione delle attività. In questo contesto è nato il progetto del Nuovo Sistema del Catalogo Nazionale – CLIO, la cui priorità è quella di progettare una riorganizzazione della conoscenza, in modo da supportare la gestione del patrimonio attraverso lo studio, la ricomposizione della presenza dei beni e la revisione delle modalità con cui questi vengono rappresentati attraverso i dati, al fine di rendere più coerente il loro "profilo informativo". Questo lavoro, tuttora in corso, implica la regolarizzazione del sistema descrittivo non soltanto mediante norme e standard, ma anche attraverso la definizione di criteri omogenei, livelli di approfondimento più controllati e pratiche condivise. Al tempo stesso, risulta essenziale sistematizzare i processi di acquisizione e aggiornamento delle informazioni, riducendo la variabilità delle procedure, chiarendo responsabilità e passaggi, e garantendo continuità e verificabilità nel tempo.

Un ulteriore nuovo obiettivo del Catalogo consiste nell'ampliare l'accesso ai dati, riconoscendo che la produzione e la gestione delle informazioni sul patrimonio culturale non possono essere riservate al solo ambito amministrativo, ma coinvolgono una pluralità di soggetti e di competenze distribuite sul territorio. Per rendere il catalogo realmente funzionale alla conoscenza, alla tutela e alla valorizzazione, occorre quindi includere, in modo ordinato e tracciabile, gli operatori che concorrono a generare, usare o aggiornare dati relativi ai beni e ai contesti, così da ampliare la base informativa e migliorare l'effettiva utilizzabilità dei contenuti. La sistematizzazione, infine, non riguarda soltanto le modalità con cui gli oggetti vengono descritti, ma anche il modo in cui vengono gestiti i concetti e i legami che li connettono. Nella configurazione precedente, il Catalogo aveva di fatto trasposto in digitale gli schedari: le schede tendevano a comportarsi come silos informativi, ricchi di contenuti ma chiusi, e quindi poco adatti a sostenere relazioni tra beni, elementi, eventi e contesti territoriali.

Il primo passaggio è stato, quindi, l'inserimento di questo patrimonio informativo all'interno del Catalogo generale attraverso l'uso dell'ontologia ARCO[1], generando un sistema di relazioni reso possibile attraverso i LOD Linked Open Data. Allo stato attuale, siamo in una fase di passaggio, che può essere descritta come un at-

[1] Si veda l'intervento di Margherita Porena, *L'ontologia ArCo*, a pag. 133.

traversamento: un guado verso un assetto in cui la dimensione relazionale non sia accessoria, ma costituisca l'impianto portante della nuova struttura.
Nel sistema CLIO, le nuove schede di catalogo conterranno specifici concetti attraverso i quali sarà possibile costruire relazioni tra i dati. Il tema delle relazioni, in questa prospettiva, diventa la base per ricomporre il patrimonio informativo in forme più connesse, interrogabili e utili all'azione.
La relazione prioritaria da impostare è quella tra il bene e il suo contesto, soprattutto territoriale; per questo il tema della cartografia è stato assunto come componente strutturale del sistema informativo. Il bene deve essere individuabile sulla cartografia non come semplice segno puntuale, ma come geometria riconoscibile: la rappresentazione poligonale consente di leggerne estensione, perimetro e assetto spaziale, e soprattutto di mettere in evidenza il rapporto con l'intorno immediato, urbano o suburbano. La cartografia, in quest'ottica, non è un elemento accessorio ma il primo livello di relazione tra bene e contesto: rende il dato più controllabile, facilita verifiche e aggiornamenti, riduce ambiguità di localizzazione e contribuisce a restituire una maggiore chiarezza informativa, anche quando si osservano insiemi di beni o si effettuano confronti tra territori.
Il lavoro in corso si colloca entro un quadro già complesso di normative, schede e tracciati ICCD; tuttavia la direzione intrapresa richiede un ulteriore salto di qualità perché le informazioni devono essere codificate con rigore per poter essere confrontate, aggregate e messe in relazione, e ciò sicuramente ne aumenta la complessità. Nonostante l'esistenza di standard, infatti, i contenuti sono spesso eterogenei: descrizioni non omogenee, livelli di dettaglio variabili, terminologie non sempre coerenti e scelte compilative che rendono difficile la comparabilità. Ne deriva un patrimonio informativo discontinuo, che non sempre sostiene in modo efficace letture trasversali e connessioni tra beni, contesti e componenti. Alla luce di ciò, si sta puntando alla costruzione di lessici controllati. È stato attivato un lavoro specifico con storici dell'architettura esterni all'amministrazione, coinvolti tramite assegni di ricerca, che da due anni operano alla costruzione di un lessico dedicato. Il punto di partenza è stato il dominio dell'architettura e una tipologia estremamente diffusa: la chiesa. Il lessico non è un semplice repertorio di parole: è una struttura gerarchica ad albero, pensata per guidare il catalogatore attraverso passaggi successivi, dal livello generale a quello di dettaglio. Già dalla sola organizzazione dei termini si riconosce un percorso: le scelte iniziali impostano la classificazione, quelle successive aumentano progressivamente la precisione. In termini operativi, il percorso può partire dall'identificazione dell'architettura, ad esempio religiosa, proseguire con distinzioni principali, "chiesa", e poi la "tipologia" (a pianta centrale o longitudinale), e orientare successivamente la descrizione verso caratteri via via più specifici, fino a includere dati su piante e sezioni e su ulteriori aspetti morfologici e costruttivi.
Questa è l'impostazione della nuova scheda di catalogo, concepita come struttura modulare: una scheda in cui è possibile fermarsi a un certo livello di compilazione e riprendere successivamente, consentendo approcci e approfondimenti progressivi. Il lessico, quindi, non serve soltanto a "uniformare le parole", ma a stabilizzare i criteri descrittivi e a rendere più gestibili i concetti e le relazioni che collegano i dati.

Su questa base si innesta il lavoro di formalizzazione concettuale (e ontologica) e, a valle, il collegamento con la modellazione 3D. La questione diventa definire fino a quale livello sia utile scomporre un modello 3D, in modo da affiancarlo alla descrizione e renderlo semanticamente utilizzabile attraverso parti, componenti e relazioni con i contesti.

A proposito dei modelli 3D, in che modo l'ICCD intende utilizzarli? Ci chiediamo se, soprattutto nel caso di strutture complesse, il modello 3D non possa diventare anche un contenitore di ulteriori dati, un riferimento per la navigazione all'interno di un insieme di schede relative a più beni culturali legati tra loro.

In questo momento, sul piano operativo, abbiamo a disposizione un visualizzatore che deriva dall'esperienza maturata dall'Università di Ferrara. Penso, ad esempio, al caso del Museo di Aquileia, dove sono stati digitalizzati i vetri che è possibile vedere nel sito del Catalogo generale mediante un visualizzatore che permette di restituire al pubblico e agli operatori l'oggetto in tre dimensioni con una fruizione 3D immediata.
Nel futuro, però, l'obiettivo che si intende perseguire è un altro: non limitarsi alla visualizzazione, ma utilizzare questi strumenti – e i modelli tridimensionali – come supporto attivo di lavoro, per poter annotare, arricchire e soprattutto collegare altre fonti informative. È un percorso che stiamo portando avanti e che considero strategico, anche perché si inserisce in una visione più ampia: far crescere il Catalogo insieme ad altri due strumenti fondamentali, cioè la Fototeca – che è stata implementata con la digitalizzazione di circa 350.000 immagini della nostra raccolta di fotografie storiche – e l'Aerofototeca, di cui si sta iniziando l'acquisizione digitale del patrimonio fotografico.
In prospettiva, quindi, le informazioni che il catalogo potrà offrire sul patrimonio culturale saranno informazioni più complesse e stratificate: deriveranno non solo dal materiale schedografico, ma anche dalle fotografie storiche e dalla documentazione fotografica e aerofotografica. E diventerà possibile mettere in relazione la visione tridimensionale di un bene con le immagini storiche, con la documentazione d'archivio e con gli altri contenuti già presenti nel patrimonio informativo dell'amministrazione, consentendo letture incrociate e percorsi di consultazione più ricchi.
Un esperimento concreto che stiamo facendo su Palazzo Mattei va proprio in questa direzione, anche con l'obiettivo di valorizzare e rendere più efficiente il workflow dell'amministrazione. Palazzo Mattei ha avviato un'azione di restauro sull'intera struttura e dispone quindi di un rilievo tridimensionale del complesso. In parallelo, grazie a una collaborazione con l'Università Sapienza di Roma, è stata realizzata la schedatura di tutti i materiali archeologici che la famiglia Mattei ha inserito sulla facciata. Il nostro obiettivo è costruire il collegamento tra l'oggetto tridimensionale e le singole schede prodotte negli anni (parliamo di oltre 300 schede di materiali archeologici). Il lavoro è capire come utilizzare il rilievo tridimensionale che non può essere solo una "immagine", ma deve diventare uno spazio di riferimento, un supporto annotabile e interrogabile che consenta di agganciare, parte per parte, le schede già esistenti e di renderle navigabili attraverso il modello.

Anche quando si lavorava nelle aree colpite dal sisma, con i colleghi dell'Università Roma Tre avevamo posto con forza il tema di disporre di rilievi tridimensionali di tutte le chiese terremotate, anche solo per averle archiviate a livello di nuvole di punti. Oggi, a otto anni dal sisma, molte di quelle chiese sono ancora imbracate e protette da strutture metalliche e lignee: poter tornare su quei rilievi, confrontarli, riutilizzarli, ci metterebbe nelle condizioni di capire come i meccanismi di danno si siano evoluti nel tempo e se abbiano dato origine a cinematismi potenzialmente più pericolosi. In questo senso, il dato 3D non è solo documentazione, è anche una base concreta per monitoraggio, diagnosi e supporto alle decisioni. Naturalmente, ci sono anche casi che rendono il rilievo più complesso. Materiali difficili come il vetro, con trasparenze e comportamenti ottici particolari, aumentano la difficoltà dell'acquisizione tridimensionale e richiedono attenzioni specifiche. Anche su questo, l'Istituto è coinvolto in progetti di ricerca per fornire casi di studio a chi sviluppa software e procedure, al fine di per migliorare la resa di questi specifici modelli.

In definitiva, la direzione verso cui si intende convergere è perfettamente coerente con la missione dell'ICCD come istituto deputato a promuovere, coordinare e governare la produzione e la qualità dei dati sul patrimonio culturale. Il 3D, quindi, sarà utilizzato non come semplice "vetrina", ma come infrastruttura operativa di conoscenza, un modello tridimensionale che diventa spazio di lavoro annotabile, progressivamente arricchibile e soprattutto integrabile nel patrimonio informativo già gestito dall'Istituto e costituito da schede, immagini, fonti e contesti. Attraverso la semantica e i Linked Open Data, il modello può trasformarsi in un nodo attivo del sistema informativo, capace di mettere in relazione dati e significati e di renderli interrogabili e riusabili. È in questa funzione di raccordo e di coordinamento della conoscenza, più che nella sola resa visiva, che si misura il valore duraturo del 3D per tutela, ricerca e gestione del patrimonio.

L'ontologia ArCo

Margherita Porena
Dipartimento di Filosofia, Università di Bologna

Parole chiave: Linked Open Data (LOD); Ontologie modulari; Knowledge graph.

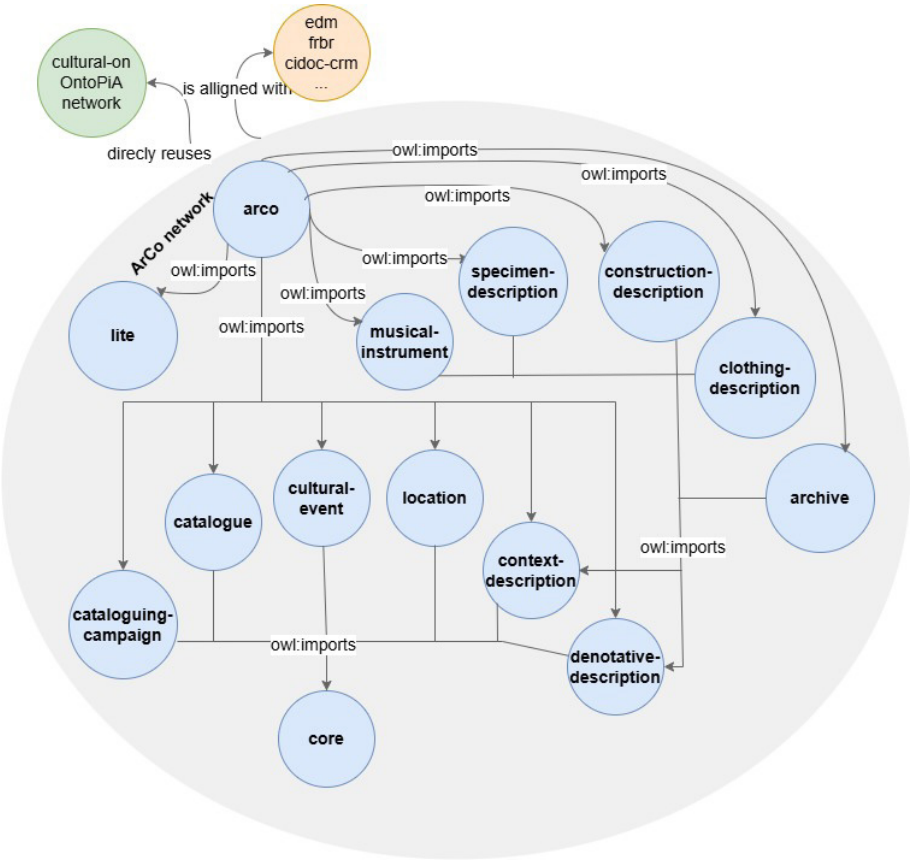
ArCo (Architettura della Conoscenza) è una delle iniziative più rilevanti in Italia nel campo della rappresentazione semantica del patrimonio culturale. Il progetto nasce con l'obiettivo di rendere i dati descrittivi del patrimonio culturale italiano accessibili, collegati e interoperabili, superando così la tradizionale chiusura delle banche dati istituzionali e favorendone l'apertura al web semantico. Il risultato, evolutosi nel tempo, si è configurato contemporaneamente come progetto, rete di ontologie e *knowledge graph*.
Il progetto risponde a un'esigenza dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD), che ha il compito istituzionale di rendere pubblici e condivisibili i dati dei beni culturali derivanti da progetti finanziati con fondi pubblici, dal momento che l'accessibilità e la riusabilità dei dati rappresentano non solo un principio di trasparenza, ma anche una condizione essenziale per favorire la ricerca, l'innovazione e la valorizzazione culturale. Le informazioni – che costituiscono la base del Catalogo generale dei beni culturali italiani – sono parte integrante del patrimonio collettivo e devono quindi essere liberamente consultabili e riutilizzabili da cittadini, studiosi, enti e imprese.
Per raggiungere tale scopo, l'ICCD ha individuato nei Linked Open Data (LOD) lo strumento più efficace per pubblicare e condividere le informazioni in modo aperto, standardizzato e interoperabile. L'approccio dei LOD consente infatti di evitare i limiti e le complessità dell'interoperabilità tra sistemi informatici chiusi, spesso costosa e tecnicamente onerosa. Al contrario, i LOD consentono di pubblicare direttamente i dati in formato aperto, strutturandoli secondo modelli ontologici che permettono di rappresentare in maniera coerente e organizzata la complessità delle relazioni tra i beni culturali.

Nel 2017, la collaborazione tra ICCD e l'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISTC-CNR) ha permesso di mettere a fattor comune la competenza di dominio sul patrimonio culturale, garantita da ICCD, e le competenze tecniche per proporre modellazioni ontologiche scientificamente solide, messe a disposizione dall'ISTC-CNR.
La principale sfida che il progetto ArCo ha dovuto affrontare è stata quella di progettare una modellazione capace di preservare la complessità intrinseca dei beni culturali, una complessità fatta di relazioni, contesti e prospettive interpretative che si intrecciano e si influenzano reciprocamente. A differenza di altri progetti di ampia portata — come ad esempio quello di Europeana[1], che si concentra principalmente sulla pubblicazione di informazioni generali e descrittive — ArCo mira a rappresentare la rete di significati che definisce ogni bene culturale, valorizzandone la specificità, la storia e le molteplici letture possibili.
L'obiettivo non è dunque la semplice diffusione di dati, ma la costruzione di un modello conoscitivo ricco e relazionale, in grado di restituire la profondità semantica e contestuale necessaria per una reale comprensione del patrimonio culturale.
Nel caso, ad esempio, di un reperto archeologico, non basta conoscerne le caratteristiche fisiche: è necessario sapere dove sia stato rinvenuto, in quale contesto storico o produttivo sia stato realizzato e quali relazioni lo leghino ad altri oggetti o eventi. ArCo consente di rappresentare questi legami complessi, fornendo una visione completa e contestualizzata del patrimonio culturale.
Un ulteriore obiettivo strategico del progetto ArCo è la connessione dei dati del Catalogo generale a basi di conoscenza esterne, anche di respiro internazionale, come DBpedia o Wikidata. Infatti l'integrazione con queste piattaforme consente di collocare la ricchezza descrittiva dei dati ICCD in un contesto informativo più ampio, mettendola in relazione con informazioni provenienti da fonti, enti e domini diversi.
Questa apertura al web semantico non solo accresce la visibilità e la tracciabilità dei dati del patrimonio culturale italiano, ma ne potenzia il valore da un punto di vista scientifico, favorendo nuove connessioni, confronti e percorsi di conoscenza.
Da un punto di vista più tecnico possiamo descrivere ArCo come un' *ontology network*: difatti non si tratta di una singola ontologia[2], ma una rete di

---

1 https://www.europeana.eu/it/about-us.

2 In ambito informatico e semantico, un'ontologia è un modello formale di conoscenza che descrive un dominio attraverso la definizione di classi e proprietà.
Le ontologie consentono di rappresentare la realtà in modo strutturato, esplicito e interpretabile dalle macchine, rendendo possibile la condivisione e l'interoperabilità dei dati tra sistemi diversi.
Nel campo dei beni culturali, ciò significa poter descrivere in modo coerente e univoco gli oggetti, gli eventi, i luoghi, gli autori e i contesti storici, superando



1 La rete di ontologie ArCo (disegno dell'autrice).

ontologie modulari, composta da 14 moduli ontologici (fig. 1) e articolata su diversi livelli di astrazione, progettata per rappresentare in modo accurato la complessità e la ricchezza del patrimonio culturale italiano: l'adozione di una struttura modulare consente di mantenere un equilibrio tra completezza semantica e chiarezza d'uso, rispondendo alle esigenze di utenti con diversi livelli di approfondimento, dai ricercatori ai catalogatori, fino ad arrivare agli utenti generici.

---

le ambiguità del linguaggio naturale e permettendo alle macchine di "comprendere" le informazioni culturali.

Per una migliore comprensione possiamo raggruppare i 14 moduli di ArCo su 4 livelli distinti. Il primo livello definisce i concetti fondamentali e trasversali, come oggetto, agente e descrizione. Il modulo di riferimento per questo primo livello è il modulo Core, che fornisce i concetti più generali e che viene importato (e quindi riutilizzato) da tutti gli altri moduli.
Il secondo livello introduce nozioni comuni a differenti tipologie di beni culturali, quali localizzazione, evento, descrizione fisica, autore, contesto e luogo di reperimento. A questo livello si collocano i moduli *Cataloguing campaign, Catalog, Cultural event & exhibition, Locations & geometry, Context description* e *Denotative description*, ciascun modulo offre una specifica vista sul bene e assume pieno significato solo in relazione agli altri.
Il terzo livello comprende invece moduli specifici, dedicati alla descrizione di particolari categorie di beni, come costruzioni (descritte dal modulo *Construction description*), strumenti musicali (rappresentati nel modulo *Musical instrument*), campioni naturalistici (con l'ontologia *Natural specimen description*), archivi o abiti e vestimenti antichi (rispettivamente definiti nei moduli *Archive ontology* e *Clothing description*).
Infine, vi è un quarto livello descritto dal modulo Arco, che integra i precedenti e fornisce una rappresentazione complessiva dei beni culturali secondo la tassonomia dell'ICCD.
Grazie a questa stratificazione è possibile muoversi all'interno dei dati passando dal generale al particolare, secondo le proprie necessità di analisi o rappresentazione. Ma accanto alla ricca articolazione di classi e relazioni che consente di rappresentare in modo dettagliato i molteplici contesti nei quali i beni culturali assumono significato, è stata prevista anche una forma di rappresentazione più semplice e diretta, pensata per agevolare la fruizione dei dati da parte di utenti non specialisti. Non tutti, infatti, hanno la necessità di esplorare la complessità semantica e contestuale di un bene culturale: per molti, l'esigenza principale è poter accedere rapidamente alle informazioni essenziali in modo intuitivo.
Per rispondere a questa esigenza, è stato sviluppato un modulo aggiuntivo, denominato Arco *lite*, che offre una versione semplificata dei modelli ontologici: questo modulo riduce la complessità dei pattern più articolati, proiettandoli in forma binaria e rendendoli così più facilmente interrogabili, pur rinunciando in parte alla profondità semantica del modello completo. In tal modo, ArCo riesce a coniugare rigore concettuale e accessibilità, offrendo strumenti adeguati sia alla ricerca scientifica sia alla consultazione generalista.
Questa architettura modulare consente di preservare la complessità descrittiva del patrimonio culturale, evitando la riduzione dei dati a un set minimo di informazioni comuni, come spesso accade in altri progetti.
Per garantire la coerenza e la sostenibilità nel tempo dello sviluppo della rete di ontologie di ArCo, il progetto si fonda su due principi metodologici: il riuso diretto delle ontologie di OntoPiA e un approccio di modellazione di tipo bottom-up e basato su pattern e uso della Metodologia XD – eXtreme Design per la creazione dei modelli.

Per quanto riguarda il primo punto, ArCo riutilizza classi e proprietà già sviluppate all'interno di OntoPiA, la rete nazionale di ontologie promossa dall'Agenzia per l'Italia Digitale (AgID), garantendo così la compatibilità con altre basi di conoscenza pubbliche e favorendo l'integrazione dei dati a livello nazionale e internazionale. Relativamente alla scelta di adottare un approccio di modellazione bottom-up, questa nasce dalla grande varietà e complessità delle informazioni raccolte dai catalogatori e dagli esperti di dominio. Tale eterogeneità rende infatti poco efficace un'impostazione deduttiva e teorica, richiedendo invece un lavoro diretto sui dati, in quanto ogni informazione può presentare sfumature interpretative diverse che necessitano di rappresentazioni semantiche specifiche.
Per questo motivo, la costruzione delle ontologie di ArCo è stata guidata da un'analisi empirica dei dati catalografici e delle normative ICCD, adottando un metodo che parte dall'osservazione concreta delle informazioni per giungere all'astrazione dei concetti più rilevanti del dominio. L'approccio bottom-up permette di rappresentare in modo fedele la realtà descritta nelle schede di catalogo, evitando la formulazione di modelli eccessivamente astratti o disancorati dai dati reali.
Dall'analisi diretta del corpus informativo sono, inoltre, emersi schemi ricorrenti di rappresentazione, ossia modelli concettuali che si ripetono in diverse sezioni dei dati. È stato dunque naturale, alla luce di queste ricorrenze, creare o riutilizzare pattern ontologici – soluzioni standardizzate e riutilizzabili per la rappresentazione di problemi comuni nella modellazione concettuale – che assicurano coerenza, chiarezza e uniformità all'intera rete semantica. In ArCo, l'uso dei pattern consente di descrivere relazioni e proprietà in modo coerente e sistematico, garantendo una solida struttura logica a tutta la rete.
Infine, da un punto di vista strettamente tecnico, la stabilità delle ontologie è stata assicurata dall'applicazione della metodologia XD, che introduce un approccio iterativo e modulare alla progettazione, che prevede la creazione di piccoli moduli autonomi, continuamente testati e raffinati per assicurare coerenza complessiva. In questo modo, eventuali modifiche o estensioni a un modulo non compromettono la stabilità dell'intero sistema, assicurando scalabilità e robustezza nel tempo.
Nel loro insieme, questi principi hanno permesso di costruire una rete ontologica coerente, estensibile e scientificamente solida, capace di adattarsi alle evoluzioni della ricerca e alle nuove esigenze di rappresentazione del patrimonio culturale.
Come detto, ArCo non è solo un progetto o una rete di ontologie, ma è anche un *knowledge graph*[3], ossia una rete di conoscenze strutturate che rappresenta i

[3] Un *knowledge graph* è una base di conoscenza in cui le informazioni non sono organizzate in tabelle o elenchi, ma in una rete di entità (nodi) e relazioni (archi), secondo modelli formali derivati da ontologie. Il knowledge graph consente di esprimere non solo i dati in sé, ma anche i legami logici e concettuali che li uni-

beni culturali italiani e le loro relazioni semantiche in forma di dati collegati (Linked Data). I dati del Catalogo generale dei beni culturali sono infatti stati rappresentati secondo l'*ontology network* descritto e sono stati pubblicati in triple RDF[4], secondo i principi FAIR[5].
Attraverso questa modellazione semantica, il patrimonio informativo dell'ICCD – tradizionalmente espresso in schede e record catalografici – viene reso disponibile come dati aperti, interoperabili e interrogabili sul web.
Questo significa che ogni bene culturale non è più soltanto un oggetto descritto, ma diventa un nodo di conoscenza collegato ad altri dati, sia interni (ad esempio le campagne di catalogazione o le informazioni sugli autori) sia esterni (ad esempio DBpedia, Wikidata o altre risorse LOD internazionali).
Per quanto riguarda l'accesso ai dati, questo avviene su due livelli complementari: da una parte il portale pubblico del Catalogo Generale dei Beni Culturali[6], pensato per un'utenza ampia e non specialistica, che consente ricerche filtrate e tematiche; dall'altra lo *SPARQL endpoint*[7] di ArCo, destinato prevalentemente alla comunità scientifica, che permette di esplorare l'intera knowledge base mediante *query* personalizzate, secondo le proprie esigenze di analisi o ricerca. Attraverso questo strumento, studiosi e istituzioni possono interrogare liberamente la base di conoscenza del patrimonio culturale, analizzando relazioni complesse, collegando dati provenienti da fonti diverse e sviluppando nuovi percorsi interpretativi.
In questo modo, ArCo non si limita a pubblicare dati, ma costruisce una vera e propria infrastruttura semantica di ricerca, capace di favorire la collaborazione interdisciplinare e di promuovere un dialogo continuo tra amministrazioni, enti di ricerca e comunità scientifica.
Dal punto di vista quantitativo, il knowledge graph di ArCo costituisce oggi una delle più ampie basi di conoscenza pubbliche nel dominio dei beni culturali.

---

scono — ad esempio la relazione tra un bene, il suo autore, il luogo di produzione, l'evento a cui è associato o il contesto storico di riferimento.

4 Le triple RDF (Resource Description Framework) sono l'unità fondamentale con cui vengono rappresentate le informazioni nel web semantico. Ogni tripla descrive una affermazione elementare composta da tre parti: soggetto (subject), l'entità di cui si parla, ad esempio un bene culturale o una persona; predicato (predicate), la proprietà o il tipo di relazione che collega il soggetto all'oggetto, ad esempio haAutore o siTrovaIn; oggetto (object), il valore della proprietà.

5 https://en.wikipedia.org/wiki/FAIR_data.

6 https://catalogo.beniculturali.it/.

7 L'endpoint SPARQL dei dati aperti del Ministero della Cultura è un punto di accesso che permette di interrogare in modalità linked open data il Catalogo generale dei beni culturali, gli archivi fotografici e i luoghi/ eventi della cultura. https://developers.italia.it/en/api/mic-data-sparql.html.

Esso comprende circa 3 milioni di beni culturali, circa 840 milioni di triple che descrivono tali beni e più di 700 classi e 1200 predicati usati all'interno del knowledge graph.
Queste cifre evidenziano la scalabilità e la solidità del progetto, che si configura come un punto di riferimento nazionale per la rappresentazione semantica del patrimonio culturale.

Come tutte le ontologie, ArCo è un sistema in continua evoluzione, un vero e proprio "organismo vivente", che si adatta alle nuove esigenze di ricerca e di rappresentazione. La sua crescita si fonda sulla possibilità di integrare nuove prospettive di modellazione: oltre alle strutture basate sulle normative ICCD, ArCo può accogliere punti di vista provenienti da ambiti accademici o di ricerca indipendenti, ampliando progressivamente la rete semantica.
L'integrazione di contributi provenienti da università e istituzioni culturali consente di costruire un mondo di relazioni tra dati prima impensabile con i modelli rigidi della catalogazione tradizionale. Infatti l'apertura del Catalogo ICCD alla collaborazione con le università italiane rappresenta un passaggio decisivo verso una gestione partecipata del patrimonio informativo.
Non sono più soltanto i catalogatori interni all'amministrazione a contribuire ai dati, ma anche gruppi di ricerca accademici che arricchiscono la base conoscitiva con progetti tematici e territoriali. Questi contributi richiedono un costante aggiornamento e manutenzione di ArCo, che diventa così uno strumento che cresce insieme al Catalogo, capace di adattarsi alle nuove esigenze della ricerca.
Per concludere, ArCo rappresenta un modello avanzato per la rappresentazione semantica del patrimonio culturale, fondato su principi di apertura, interoperabilità e complessità informativa. La sua natura modulare e dinamica consente di integrare prospettive differenti — istituzionali, accademiche, tecnologiche — e di rendere i dati culturali non solo accessibili, ma anche intelligibili e riutilizzabili dalle macchine e dagli esseri umani.

Bibliografia

Blomqvist, E. *et al.* (2010). Experimenting with eXtreme design. *EKAW 2010*, n. 6317, pp. 120-134.

Carriero V.A., *et al.* (2019). ArCo: the Italian Cultural Heritage Knowledge Graph. In *The Semantic Web. ISWC 2019*, n. 11779, pp. 36-52.

Gangemi, A., Presutti, V. (2009). Ontology Design Patterns. In Staab, S., Studer, R. (eds.), Handbook on Ontologies. International Handbooks on Information Systems. Berlin: Springer, pp 221-243.

Gangemi, A. *et al.* (2006). Modelling Ontology Evaluation and Validation. In *Proceedings of the Third European Semantic Web Conference*. Berlin: Springer, pp 140-154.

Problematiche giuridiche dei modelli 3D

Francesca Vessia
Dipartimento di Giurisprudenza, Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Parole chiave: modelli 3D; riproduzione beni culturali; tutela autoriale; open data.

La creazione di modelli 3D, che provengono dalla digitalizzazione del patrimonio culturale mediante fotogrammetria o acquisizioni laser scanner, solleva alcuni interrogativi giuridici per gli operatori e i professionisti del settore ai quali questo scritto si prefigge di dare risposta.
Innanzitutto, ci si interroga su quale sia la natura dei modelli 3D, sia quando configurino riproduzioni digitali fedeli di opere del patrimonio culturale sia *a fortiori* quando non lo siano, in particolare ci si domanda se possano essere considerati come opere creative e quindi assoggettati a tutela autoriale.
La seconda questione, connessa strettamente alla prima, è se l'autore del modello 3D possa, e in quali circostanze, essere titolare di diritti patrimoniali d'autore, in specie di diritti di utilizzazione dei modelli che ha realizzato per finalità di ricerca e pubblicazione anche attraverso piattaforme on line.
Un ulteriore problema è legato ai limiti di acquisizione delle fotografie di un bene culturale allo scopo di elaborare il relativo modello 3D, ed in particolare se siano necessarie autorizzazioni pubbliche o il pagamento di *fee* al detentore del bene culturale che lo abbia in custodia.
Una quarta ed ultima questione concerne la possibilità o necessità che l'ente competente per la tutela dei beni culturali condivida il modello 3D sotto forma di *open data*, laddove questo sia il prodotto di un lavoro finanziato con fondi pubblici o appartenga all'ente stesso, o se la politica di *open access* possa essere il risultato anche di una scelta individuale di singoli autori dei modelli tridimensionali, in applicazione delle norme europee sul riuso dei dati pubblici.

1. *La natura giuridica dei modelli 3D delle opere del patrimonio culturale e le ricadute sul piano del diritto d'autore*

L'art. 2 della legge 22 aprile 1941, n. 633, legge sul diritto d'autore (d'ora innanzi l.aut.) elenca le opere comprese nella tutela autoriale senza menzionare i

modelli tridimensionali. Tuttavia, si ritiene che tale elencazione non sia tassativa ma esemplificativa, come testimoniato anche dalle disposizioni degli art. 1 l.aut. e art. 2575 c.c. le quali, con formulazioni sostanzialmente identiche, stabiliscono che «sono protette (…) le opere dell'ingegno di carattere creativo che appartengono alla letteratura, alla musica, alle arti figurative, all'architettura, al teatro e alla cinematografia, qualunque ne sia il modo o la forma di espressione».

Se pertanto non vi è un *numerus clausus* delle opere dell'ingegno protette in relazione ai diversi ambiti culturali, e la clausola finale di apertura *"qualunque ne sia il modo o la forma di espressione"* consente di arricchire nel tempo le singole fattispecie protette adattando la disciplina autorale all'evoluzione tecnica e tecnologica (Cogo 2024, p. 509 ss.; Auteri 2023, p. 658 ss.; Galli, 2019, pp. 1651-1652), si deve ritenere che i modelli tridimensionali ove presentino *carattere creativo* possano ricevere protezione autorale.

Occorre, pertanto, indagare quale sia il livello di creatività richiesto dalla legge per le opere dell'ingegno in generale e in particolare per i modelli 3D (sebbene finora non considerati dal legislatore né dalla giurisprudenza), partendo dalla concezione tradizionale della creatività intesa come *l'impronta dell'autore* impressa nell'opera, e facendo ricorso alle fattispecie normative simili e alla giurisprudenza finora elaborata con riguardo alle opere fotografiche, a cui sembrano assimilabili i modelli tridimensionali.

Secondo quanto consacrato già nella Dir. 93/98, concernente l'armonizzazione della durata di protezione del diritto d'autore e di alcuni diritti connessi, considerando 17, sostituita dalla Dir. 2006/116/CE, considerando 16, «un'opera fotografica ai sensi della Convenzione di Berna deve essere considerata originale se è il risultato della creazione intellettuale dell'autore e rispecchia la personalità di quest'ultimo, indipendentemente da qualsiasi altro criterio quale il pregio o lo scopo». Si desume che la personalità dell'autore e le sue scelte personali devono emergere dall'opera e solo in forza della manifestazione di questi aspetti soggettivi di rappresentazione nella singola opera fotografica, questa potrà essere definita come creativa e pertanto protetta.

La giurisprudenza europea, per suo conto, in linea con la normativa succitata, ha stabilito che deve essere negata la tutela autorale per mancanza di creatività a quelle opere che «non lasciano margine per la libertà creativa», come gli incontri di calcio o gli eventi sportivi in generale che «sono disciplinati esclusivamente dalle regole del gioco» (CGUE, 4 ottobre 2011, cause riunite C-403/08 e C-429/08, caso *Premier League*, § 98).

Con specifico riguardo alle fotografie, la Corte di Lussemburgo ha meglio precisato il concetto di creatività, spiegando quali possano essere le manifestazioni della libertà creativa: «l'autore può effettuare le proprie scelte libere e creative in molti modi e in diverse fasi durante la sua realizzazione. Durante la fase preparatoria l'autore potrà scegliere lo sfondo, la messa in posa della persona da fotografare o l'illuminazione. Nel fotografare potrà scegliere l'inquadratura, l'angolo di ripresa o ancora l'atmosfera creata. Infine, al momento dello sviluppo, l'autore potrà scegliere tra diverse tecniche esistenti quella da adottare, o

ancora procedere, eventualmente, all'impiego di programmi informatici. Attraverso tali differenti scelte, l'autore di un ritratto fotografico è quindi in grado di imprimere il suo "tocco personale" nell'opera creata» (CGUE, 1° dicembre 2011, causa C-145/10, caso *Painer*, §§ 90-92).
Acclarato così che l'autore di fotografie (bidimensionali) dispone di un certo margine di libertà che gli consente di poter esercitare le proprie capacità creative, si deve spostare l'attenzione sulle riproduzioni di forme tridimensionali per stabilire se anche con riguardo ad esse vi sia spazio per la libertà creativa del suo autore, ovvero per contro se i vincoli derivanti dall'oggetto riprodotto (sculture o edifici o altri oggetti tridimensionali) limitino in misura tale la capacità creativa dell'autore fino a farla diventare inesistente.
Per rispondere a questa domanda risulta utile richiamare i principali aspetti del procedimento di creazione delle riproduzioni tridimensionali di oggetti, edifici, sculture o altri beni culturali, che possono essere ottenute assemblando "nuvole" di punti, risultato del rilievo di un determinato oggetto secondo una rilevazione laser scanner 3D. La "nuvola" è un insieme di punti, i quali descrivono l'area che compone il rilievo in un formato tridimensionale. Nella "nuvola" di punti ciascun punto è caratterizzato da uno specifico sistema di coordinate (XYZ) che determina una maggiore densità di punti in corrispondenza della struttura esterna dell'oggetto scansionato: tanto maggiore è la densità della nuvola, e dunque dettagliata la rilevazione laser scanner dell'oggetto, quanto migliore sarà la risoluzione video del modello finale.
Le "nuvole" di punti si ottengono all'esito di un processo di modellazione tridimensionale la cui prima fase è quella della fotogrammetria. L'oggetto deve essere fotografato da (almeno) due punti di vista distinti con uno dei due tipi di camera, metrica o stereoscopica, che consentono di avere immagini o fotogrammi dello stesso edificio o monumento da diversi punti di osservazione o di presa. Successivamente occorre l'orientamento dei fotogrammi in modo tale da poter ottenere un modello tridimensionale. E infine, la fase della restituzione consente la ricostruzione del modello tridimensionale che permette di rilevarne la forma e le dimensioni.
Da questo inquadramento, si può ritenere che la creazione di modelli 3D tramite "nuvole" di punti sia una procedura che lascia un certo margine di libertà alla scelta dell'autore, il quale potrà imprimere la propria personalità attraverso scelte che riguardano soprattutto la fase preparatoria ed esecutiva degli scatti fotografici, potendo selezionare il punto di osservazione dell'oggetto, l'angolatura e la distanza da esso, la luce, la luminosità e i contrasti ottici della ripresa, nonché il numero degli scatti. Tali scelte riguardano anche la fase dell'orientamento dei fotogrammi con la loro selezione e quella di elaborazione successiva, ad esempio realizzando una post-produzione tramite software di correzione dei colori, della luce, del contrasto, della risoluzione etc. (Sappa 2022[a], p. 1268 ss. e Sappa 2022[b], p. 924 ss.).
In ragione di queste osservazioni e dell'orientamento giurisprudenziale tendente a riconoscere una certa libertà creativa agli autori di fotografie, si può concordare con quanti ritengono che «quando vi sia una scelta nell'angolazione,

nella risoluzione, nei contrasti e nelle luci scelti dall'utente» (Sappa 2022[a], p. 1267) anche i modelli tridimensionali possano qualificarsi come opere creative (Sappa 2022[b], p. 924 ss.). E, spingendosi ancora oltre, si può ritenere che le "nuvole" di punti rappresentino sempre qualcosa di diverso e di più elaborato e creativo rispetto alle semplici fotografie di un bene culturale, pur partendo dalle fotografie degli stessi e approssimandosi ad una fedele riproduzione dell'opera tridimensionale.

Questa osservazione deve essere calata nel contesto del nostro specifico sistema normativo, laddove la legge sul diritto d'autore riconosce, in relazione alle fotografie bidimensionali, la possibilità che queste abbiano diversi gradi di creatività e, conseguentemente, contempla sia un diritto d'autore ampio con attribuzione della tutela autoriale piena alle opere di cui all'art. 2, n. 7), l.aut. nel caso di fotografie artistiche (diritti la cui estensione temporale coincide con la vita dell'autore e cessa al compimento dei settant'anni dalla sua morte), sia un diritto di minore estensione, c.d. diritto connesso, sulle fotografie semplici e non creative (artt. 87-92 l. aut.), la cui durata è di vent'anni dalla produzione della fotografia (Galli 2021, p. 127).

L'art. 87, comma 1, menziona espressamente "le riproduzioni di opere dell'arte figurativa" tra le fotografie semplici e non artistiche. Pertanto, bisogna interrogarsi su quale sia il diverso gradiente di creatività necessario per accedere alla tutela autoriale piena e/o a quella dei diritti connessi in relazione alle riproduzioni tridimensionali. Sebbene la giurisprudenza non si sia mai ancora pronunciata su questa nuova fattispecie, può essere utile considerare la giurisprudenza italiana che si è formata in relazione alle fotografie bidimensionali, la quale non ha mai riconosciuto carattere creativo alle riproduzioni fedeli delle opere dell'arte figurativa (Cass. civ., 12/03/2004, n. 5089, in De Jure; Trib. Roma, 12 luglio 2019, in AIDA, 2020, 1932, con nota di Remotti; Trib. Napoli 2012; Trib. Roma 1998; Trib. Napoli 1990) ovvero delle «immagini di persone, aspetti, elementi o fatti della vita naturale e sociale» (Cass. civ. (ord.), 07/02/2020, n. 2981, in De Jure, in cui oggetto di discussione era il ritratto fotografico di persone; Tribunale Sez. spec. Impresa - Roma, 11/03/2021, n. 4361, in AIDA, 2021, 1, p. 825, in cui oggetto di discussione era una fotografia del centro storico di Frosinone) secondo la definizione di "semplice fotografia" fornita dall'art. 87 l.aut. (sul punto cfr. in dottrina Sarti 2000, Remotti 2020).

In particolare, come più volte affermato nella giurisprudenza di legittimità «il discrimine tra opera protetta e semplice fotografia è incentrato nella capacità creativa dell'autore, vale a dire nella sua impronta personale, nella scelta e studio del soggetto da rappresentare, così come nel momento esecutivo di realizzazione e rielaborazione dello scatto, tali da suscitare suggestioni che trascendono il comune aspetto della realtà rappresentata. Le fotografie semplici, invece, si distinguono dalle precedenti in quanto non richiedono alcun apporto creativo da parte del fotografo, poiché trattasi di mere fotografie, *seppur di altissimo livello qualitativo*, che si limitano a *riprodurre fedelmente la realtà esterna, senza alcuna personale e sostanziale rielaborazione della fotografia da parte dell'autore*» (Cassazione civile sez. I - 20/12/2024, n. 33599, in *De Jure* e in *Rivista di Diritto Industriale*, 2024,

6, II, 263). E proseguendo «L'apporto creativo deve potersi desumere da una precisa attività del fotografo, volta o a un miglioramento degli effetti ottenibili con l'apparecchio (inquadratura, prospettiva, cura della luce, del tutto peculiari) o dalla scelta del soggetto (intervenendo il fotografo sull'atteggiamento e sull'espressione, se non creando addirittura il soggetto stesso), purché emerga una prevalenza del profilo artistico sull'aspetto prettamente tecnico. La creatività dell'artista può manifestarsi in diverse fasi della produzione fotografica. La scelta delle lenti, la disposizione delle luci, la sistemazione del soggetto o del fotografo, la composizione dell'immagine, il momento dello scatto, la post produzione, la scelta dei toni, la stampa etc.».

Pertanto, alla luce degli arresti giurisprudenziali, e con specifico riguardo alle riproduzioni fotografiche di opere architettoniche, si deve ritenere che tali fotografie siano protette unicamente dal diritto connesso *ex* art. 87 l.a. se si limitano a riprodurre l'opera ritratta senza una personale rielaborazione da parte del fotografo (Trib. Milano, 4 dicembre 2019, in *AIDA*, 2020, 1937, con nota di Cunegatti; Trib. Napoli, 27 gennaio 2008, in *Corr. mer.* 2008, 407; Trib. Roma, ord. 24 febbraio 1998, in *Riv. dir. inf.*, 1998, 793; Pret. Saluzzo, 13 ottobre 1993, in *AIDA* 1995, 311, con nota di Lavagnini).

Stante il quadro appena tratteggiato in relazione alle fotografie bidimensionali, e in attesa che si formi un orientamento da parte dei giudici di merito sui modelli tridimensionali, è possibile formulare alcune ipotesi, sostenendo la percorribilità di due diverse soluzioni: *i)* la tesi secondo cui ai modelli 3D debba riconoscersi la tutela dei diritti connessi come previsto dalla legge per le semplici fotografie bidimensionali delle opere dell'arte figurativa, in base agli artt. 87-92 l. aut., e tale soluzione sembra la più persuasiva in ragione della menzione espressa delle fotografie riproducenti opere dell'arte figurativa nella disposizione dell'art. 88 l.aut. e dell'analogia che è possibile fare con le riproduzioni tridimensionali. Per converso si potrebbe obiettare che il sistema dei diritti connessi è basato sulla tipicità delle fattispecie e sul principio del numero chiuso (Morello 2008, p. 67 ss.; Resta 2010, p. 3 ss.; Resta 2023 [1], p. 143 ss.; Id. 2024 [2], p. 73 ss.; Auteri 2023, p. 657; Cogo 2024, p. 522 ss.), e ciò impedirebbe l'applicazione analogica ma non anche quella estensiva, come sembra preferibile in questa fattispecie.

In alternativa si può sostenere *ii)* la soluzione secondo cui la maggiore complessità tecnica del procedimento creativo dei modelli tridimensionali e l'annessa maggiore libertà creativa del suo autore rispetto alle fotografie bidimensionali comportino sempre la possibilità di riconoscere un maggiore gradiente di creatività ai modelli 3D, e dunque che gli stessi possano ricevere protezione autoriale al pari delle opere fotografiche. Tale soluzione appare tuttavia criticabile, perché non terrebbe conto né della previsione dell'art. 88 né della natura vincolante dell'oggetto (bene culturale) riprodotto, ma avrebbe il pregio di poter superare l'*impasse* della tipicità dei diritti connessi.

Questa duplice soluzione, che riconosce un diritto connesso ovvero il diritto d'autore sui modelli tridimensionali a seconda del gradiente di creatività ad essi connessa, è stata accolta anche nelle Linee Guida per la digitalizzazione 3D –

Beni storico-artistici e museali, predisposte dal Ministero della Cultura e sottoposte a consultazione pubblica dal 23 dicembre 2024 al 15 maggio 2025, consultazione promossa dall'Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale – Digital Library. Nel testo ancora provvisorio (che non è stato ancora pubblicato nella sua versione definitiva nella fase di stampa di questo volume sebbene annunciato entro dicembre 2025) si legge (p. 16) che è necessario distinguere «tra due tipologie di modelli: quelli che sono il risultato di modellazione (costruzione *ex-novo* del modello, sia come ripristino di una situazione antica non più esistente, sia come riproduzione dell'esistente costruita su base puramente creativa e senza strumenti di rilievo tecnico); e quelli, invece, esito di rilievo degli oggetti esistenti attraverso un processo di digitalizzazione tridimensionale». Per la prima categoria si prevede di poter applicare la normativa sul diritto d'autore; mentre per la seconda categoria, qualificata come riproduzione in senso stretto o "riproduzione fedele" del bene culturale, si afferma la possibilità di riconoscere un diritto connesso all'autore del modello.
Inoltre, nella proposta di Linee Guida si fa riferimento (p. 17) anche alla *crypto art* e ai *non fungible token* (NFT) definite «pratiche di libera reinterpretazione, contaminazione e riuso di riproduzioni digitali tridimensionali del patrimonio culturale», riportate come esempio di modelli che hanno dignità artistica o creativa originale, ma specificando che in questi casi l'uso o il riuso delle riproduzioni digitali dovranno essere opportunamente concordate con l'autore delle opere creative (Vessia & Lopopolo 2024; Tommasini 2023, p. 610).
Merita anche di essere considerata, nell'attribuzione dei diritti d'autore sui modelli digitali, la variabile della caduta in pubblico dominio delle opere dell'arte figurativa oggetto di riproduzione tridimensionale ovvero l'ipotesi che le stesse siano ancora gravate da diritti patrimoniali esclusivi dell'autore o dei suoi eredi o aventi causa.
Nel primo caso, qualora si sia già verificata la caduta in pubblico dominio, non sarà esclusa la possibilità di una riproduzione che abbia un certo grado di creatività e che attribuisca all'autore della fotografia (come anche del modello tridimensionale), o al suo datore di lavoro o committente (come previsto dall'art. 88, commi 2 e 3, l.aut.), il diritto connesso sulla fotografia o sul modello tridimensionale.
A tal fine rileva la previsione dell'art. 32-*quater* della legge sul diritto d'autore (Sappa 2022[a], p. 1265 ss.; Vessia 2024 [1]; Resta 2025, p. 358 ss.) la quale, recependo l'art. 14 della Direttiva 2019/790, c.d. *digital copyright*, ha stabilito la regola secondo cui «alla scadenza della durata di protezione di un'opera delle arti visive, anche come individuati all'articolo 2, il materiale derivante da un atto di riproduzione di tale opera non è soggetto al diritto d'autore o a diritti connessi, salvo che costituisca un'opera originale. Restano ferme le disposizioni in materia di riproduzione dei beni culturali di cui al decreto legislativo 22 gennaio 2004 n. 42» ossia il Codice dei Beni Culturali.
In base a questa norma alcuni Autori hanno sollevato il dubbio che nessuna tutela (neanche tramite i diritti connessi) sarebbe attribuibile alle semplici fotografie dei beni culturali o di opere delle arti figurative cadute in pubblico

dominio (cfr. commento a Tribunale Sez. spec. Impresa - Roma, 11/03/2021, n. 4361, in AIDA, 2020, cit.). Nel caso specifico delle "nuvole" di punti dei modelli 3D, ad avviso di chi scrive è preferibile ritenere che nulla osti al riconoscimento di un diritto d'autore, *rectius* di un diritto connesso, in ragione della creatività (di cui si è già detto) e tale da renderla un'opera originale. Difatti, fermo restando che bisognerà indagare quale sia il grado di creatività al fine di riconoscere alternativamente o una tutela autoriale piena e ampia (al pari di quella riconosciuta alle opere fotografiche bidimensionali), oppure il diritto connesso, al pari di quello riconosciuto sulle semplici fotografie, di certo tale diritto potrà essere riconosciuto anche se il bene culturale in questione sia caduto già nel pubblico dominio, poiché in ogni caso costituirebbe un'autonoma opera originale rispetto a quella originaria.
Il grado di creatività dipende da quanto sia fedele all'originale la riproduzione 3D dell'opera architettonico o scultorea: si pensi all'Italia in miniatura e a tutti gli edifici architettonici che sono stati riprodotti in scala e in maniera non fedele ma creativa e disposti, altresì, secondo un percorso ideale in maniera originale nel parco a tema, sul quale gravano diritti di copyright.
Nel caso in cui, diversamente, sulle opere architettoniche o scultoree sussista un diritto d'autore da parte di un soggetto terzo diverso dall'autore del modello tridimensionale, l'art. 88, comma 1, l.aut, fa espressamente salvi i diritti dell'autore sull'opera dell'arte figurativa riprodotta («e senza pregiudizio, riguardo alle fotografie riproducenti opere dell'arte figurativa, dei diritti di autore sull'opera riprodotta»). Dunque, vi sarà una coesistenza dei due diritti, quello dell'autore sull'opera originaria e quello di riproduzione sulla stessa, tale da rendere autonomo, ma al contempo dipendente, il diritto connesso sulla riproduzione dal diritto d'autore sull'opera originaria. Questa relazione di coesistenza e di dipendenza rende necessaria la conclusione di un apposito accordo tra il titolare dei diritti d'autore sull'opera dell'arte figurativa rappresentata nel modello e l'autore del modello stesso, accordo che dovrà prevedere non soltanto un'esplicita autorizzazione alla riproduzione tridimensionale, ma anche l'attribuzione della titolarità sul modello e sulle diverse modalità di utilizzazione (pubblicazione inclusa). Diversamente, tale accordo non sarà necessario quando sia riprodotto il modello tridimensionale di un'opera architettonica o scultorea già caduta in pubblico dominio, similmente a quanto stabilito dalla giurisprudenza in relazione alle semplici fotografie di persone, luoghi, elementi o fatti della vita naturale e sociale, argomentando dall'art. 98 l.aut. (Cass. civ. (ord.), 07/02/2020, n. 2981, cit.).

2. *I diritti d'autore sui modelli 3D delle opere del patrimonio culturale: aspetti soggettivi e oggettivi*

Accertata la possibilità in astratto di configurare un diritto d'autore o un diritto connesso sui modelli tridimensionali, si deve stabilire a chi spetti il diritto sugli stessi.

I diritti morali spettano di regola (artt. 6 e 20 l.aut.) all'autore o agli autori del rilievo (in regime di comunione inscindibile, secondo la previsione dell'art. 10 l.aut.), che di solito è l'architetto o il professionista che effettua il lavoro di rilevazione fotogrammetrica o laser scanner.
Invece, per stabilire la titolarità dei diritti patrimoniali, occorre indagare chi abbia effettuato l'investimento economico per la digitalizzazione del bene culturale. La risposta, quindi, dipende dalla circostanza che i modelli tridimensionali siano stati realizzati su commissione di una sovrintendenza o di altra amministrazione pubblica che ha commissionato, pagato e organizzato il lavoro, oppure se siano stati realizzati in totale autonomia e con fondi propri da parte degli autori (architetti) che potrebbero realizzare i modelli nell'ambito delle proprie attività di ricerca scientifica.
Assume rilevanza, a tale scopo, innanzitutto la previsione dell'art. 88, commi 2 e 3, l.aut., sempre riferita alle fotografie bidimensionali, ai sensi della quale «se l'opera è stata ottenuta nel corso e nell'adempimento di un contratto di impiego o di lavoro, entro i limiti dell'oggetto e delle finalità del contratto, il diritto esclusivo compete al datore di lavoro. La stessa norma si applica, salvo patto contrario, a favore del committente quando si tratti di fotografia di cose in possesso del committente medesimo e salvo pagamento a favore del fotografo, da parte di chi utilizza commercialmente la riproduzione, di un equo corrispettivo».
Pertanto, se la modellazione digitale tridimensionale del bene culturale viene realizzata in forza di un contratto di lavoro, privato o pubblico, o di committenza, privata o pubblica, si ritiene di dover applicare estensivamente questa disposizione che riconosce la titolarità dei diritti connessi al datore di lavoro e al committente, per quanto attiene al diritto patrimoniale di utilizzazione del modello tridimensionale, ferma restando la paternità dell'opera a colui che abbia materialmente realizzato lo stesso.
Tra i diversi diritti patrimoniali di utilizzazione dei modelli tridimensionali, una particolare attenzione merita il diritto di pubblicazione e di utilizzazione per ragioni di ricerca scientifica e disseminazione dei risultati della ricerca, verificandosi con frequenza che gli autori dei modelli 3D siano ricercatori del settore pubblico (Università o EPR).
Occorre fare riferimento sempre alla previsione dell'art. 88, comma 1, l.aut, che con riguardo alle fotografie bidimensionali disciplina i diritti di utilizzazione menzionando espressamente la riproduzione, la diffusione, anche a mezzo stampa ovvero online, e la messa in commercio (il termine usato dalla legge è "spaccio") delle fotografie, e sancendo che «spetta al fotografo il diritto esclusivo di riproduzione, diffusione e spaccio della fotografia».
Applicando tale disposizione ai modelli tridimensionali, si può ritenere che spetti all'autore del modello sia la scelta di riprodurre, diffondere o commercializzare, direttamente o indirettamente mediante concessione a terzi della relativa licenza, sia l'appropriazione dei proventi eventualmente ricavati da tali attività.
Si può verificare, altresì, l'ipotesi in cui il committente della pubblicazione sia

un ente pubblico, nel qual caso viene in rilievo anche l'art. 11 l.aut., il quale assegna alle amministrazioni dello Stato, alle Province e ai Comuni il diritto d'autore sulle opere a stampa, create e pubblicate sotto il loro nome e per loro conto e spese, a condizione che l'ente pubblico abbia non soltanto sovvenzionato la ricerca ma anche commissionato la pubblicazione (Piola Caselli 1943, p. 269; Ammendola 1989, p. 383 ss.; Id. 1993, pp. 24-26; Id. 2007, p. 788 ss.).
Tale diritto d'autore delle amministrazioni pubbliche sulle pubblicazioni da esse commissionate non elide il diritto morale degli autori dei modelli 3D, bensì si aggiunge come diritto patrimoniale che ha una durata specifica limitata a venti anni, dovendosi tenere conto del fatto che anche il diritto connesso sulle fotografie ha una durata limitata a venti anni. Pertanto, se è vero che la dottrina è concorde nel ritenere che per le opere protette dal diritto d'autore, trascorsi due decenni, l'autore cui è attribuita la paternità dell'opera potrà riappropriarsi dei diritti di sfruttamento economico e patrimoniale sulla stessa, cosicché i diritti che erano stati compressi nei primi vent'anni sono destinati a riespandersi successivamente (Piola Caselli 1943, p. 269 ss.; Ammendola 1989, p. 383 ss.; Id. 1993, pp. 24-26; Id. 2007, p. 788 ss.), è anche vero che per le fotografie, e per similitudine anche per i modelli tridimensionali, questa riespansione difficilmente potrà realizzarsi, stante la durata limitata a vent'anni dello stesso diritto connesso sulle fotografie e sui modelli.

3. *Sui limiti di carattere pubblicistico alla riproduzione dei beni culturali per la modellazione tridimensionale*

Occorre prendere in considerazione le limitazioni, derivanti dalle norme di matrice pubblicistica, alla riproduzione dei beni culturali e dunque anche alla modellazione tridimensionale, ed in particolare se siano necessarie autorizzazioni pubbliche o anche il pagamento di compensi o *fee* al detentore del bene culturale che lo abbia in custodia.
Questa tematica si intreccia con quella dei diritti che gli enti pubblici, detentori e custodi dei beni culturali in questione, possono esercitare ai sensi dell'art. 108, comma 6, d.lgs. n. 42/2004, Codice dei Beni Culturali, e dei successivi decreti attuativi del Ministero della Cultura (D.M. 11 aprile 2023, n. 161 *Linee guida per la determinazione degli importi minimi dei canoni e dei corrispettivi per la concessione d'uso dei beni in consegna agli istituti e luoghi della cultura statali* e D.M. 21 marzo 2024 n. 108 che ha modificato il precedente), sulle riproduzioni dei beni stessi (Resta 2010, p. 3 ss.; Caso 2023, p. 2256 ss.; Resta 2023 [1], p. 143 ss.; Id. 2024 [2], p. 73 ss.; Modolo 2023, p. 33 ss.; Ricolfi 2024, p. 1 ss.; Resta 2025, p. 338 ss.).
Occorre chiarire se e quando sia necessario chiedere l'autorizzazione al museo, all'archivio, alla biblioteca o all'istituzione pubblica e quando sia necessario il pagamento di una imposta sulle fotografie fatte per il rilievo laser o fotogrammetrico del bene culturale, al fine della successiva realizzazione del modello digitale, anche tenendo conto delle *Linee guida per l'acquisizione, la circolazione e il*

		Modalità di acquisizione della riproduzione	Richiesta	Rimborso spese per acquisizione riproduzioni
RIPRODUZIONI ESEGUITE DA PRIVATI IN AUTONOMIA	A1	Riproduzioni eseguite da privati con mezzo proprio senza flash e/o treppiedi e/o dispositivo a contatto	No	Non dovuto
	A2	Riproduzioni eseguite da privati con mezzo proprio con l'ausilio di flash e/o treppiedi e/o dispositivo a contatto o mediante drone	Sì	Non dovuto
	A3	Riproduzioni eseguite da privati previa concessione d'uso degli spazi	Sì	Non dovuto. Canone per la concessione d'uso degli spazi
RIPRODUZIONI RICHIESTE ALL'AMMINISTRAZIONE	A4	Riproduzioni richieste da privati e prodotte *ex novo* dall'amministrazione	Sì	Applicabile
	A5	Riproduzioni richieste da soggetti pubblici da produrre *ex novo*	Sì	Da valutare caso per caso
	A6	Riproduzioni richieste da privati già presenti in banche dati locali ma non pubblicate online	Sì	Applicabile
	A7	Riproduzioni richieste da soggetti pubblici già presenti in banche dati locali ma non pubblicate online	Sì	Da valutare caso per caso

Tabella § 3.1.12. Quadro sinottico (A-Modalità di acquisizione delle riproduzioni) delle Linee Guida acquisizione circolazione e riuso.

riuso delle riproduzioni dei beni culturali in ambiente digitale Release v1.0-giugno-2022 (d'ora innanzi solo Linee Guida acquisizione circolazione e riuso) disponibili al seguente link https://docs.italia.it/italia/icdp/icdp-pnd-circolazione-riuso-docs/it/v1.0-giugno-2022/index.html.
Si deve tenere a mente la distinzione, già prima segnalata, tra beni culturali caduti in pubblico dominio, per i quali si applicano esclusivamente le disposizioni succitate, e i beni culturali non ancora caduti in pubblico dominio. In quest'ultimo caso si dovrà chiedere un espresso consenso per l'elaborazione del modello tridimensionale e per effettuare i rilievi laser o fotografici a chi è titolare dei diritti patrimoniali d'autore sul bene culturale oggetto di riproduzione, il quale potrà autorizzare o non autorizzare, dietro licenza, normalmente a titolo oneroso e senza esclusiva.
Invece, nel caso in cui il bene culturale sia già caduto in pubblico dominio, in applicazione delle *Linee guida per l'acquisizione, la circolazione e il riuso delle riproduzioni dei beni culturali in ambiente digitale Release v1.0-giugno*-2022, occorre distinguere i casi in cui la riproduzione digitale sia fatta con l'uso di mezzi propri di un privato, nel qual caso non c'è di regola necessità di pagare un compenso all'amministrazione pubblica, dal caso in cui si voglia ottenere dalla P.A. una copia digitale (anche tridimensionale) di un bene culturale a spese dell'amministrazione stessa, dovendosi ulteriormente distinguere tra i casi in cui la P.A. non abbia ancora realizzato la copia digitale (bidimensionale o tridimensionale) del bene culturale, dal caso in cui abbia già realizzato la digitalizzazione dei beni culturali richiesti, e magari abbia anche dato vita ad una una banca dati, sebbene non ad accesso aperto e non disponibile online.

			USO NON LUCRATIVO O LUCRO INDIRETTO		USO LUCRATIVO/COMMERCIALE	
		DISCIPLINE D'USO / TIPI DI USO	**Libero** gratuito, senza autorizzazione o informativa	**Gratuito** con invito a inviare informativa sull'evento culturale o pubblicazione	**Richiesta autorizzazione + pagamento corrispettivo**	**Concessione di servizi** Ex art. 115 del Codice de Beni Culturali
FINI DI STUDIO, RICERCA, LIBERA MANIFESTAZIONE DI PENSIERO O ESPRESSIONE CREATIVA	U1a	Uso personale e di studio (riproduzioni eseguite o richieste da chiunque per esigenze di studio personale, riproduzioni eseguite o richieste da professionisti per lo studio e l'espletamento di pratiche professionali a favore di terzi)	X			
	U1b	Attività di ricerca (include prodotti della ricerca come tesi di diploma, laurea e dottorato)	X			
	U1c	Libera manifestazione del pensiero ed espressione creativa (pubblicazioni su qualsiasi canale di comunicazione non commerciali, siti web e pagine social anche di designer, artisti e blogger di professione)	X			
USI EDITORIALI	U2a	Editoria scientifica in *Open Access* (monografie o riviste)		X		
	U2b	Editoria in canali commerciali online/cartacea (monografie o riviste)		X **Con eventuali eccezioni**		
	U2c	Editoria didattica (monografie o riviste)		X		
	U2d	Quotidiani e riviste connesse	X			
USI PUBBLICITARI E COMMERCIALI	U4a	Merchandising (immagini di beni su prodotti commerciali di qualsiasi genere)			X	
	U4b	Uso promozionale e pubblicitario (associazione tra immagine e marchio o *reclame*)			X	
	U4c	Fondali o ambientazioni per eventi o attività commerciali			X	
LICENSING E VENDITA IMMAGINI	U5a	Commercializzazione delle riproduzioni			**Da valutare caso per caso**	**Da valutare caso per caso**
	U5b	Copie certificate destinate al mercato			**Da valutare caso per caso**	**Da valutare caso per caso**
USI CONNESSI CON INDUSTRIA CULTURALE E IMPRESA CREATIVA	U3a	Mostre o eventi culturali (ingresso gratuito o a pagamento)		X		
	U3b	Format espositivi commercializzati a pagamento			X	
	U3c	Documentari		X		
	U3d	Produzioni cinematografiche e programmi televisivi		**Da valutare in relazione alla finalità**	**Da valutare in relazione alla finalità**	
	U3e	App di terze parti commercializzate			X	

Tabella tratta dal § 3.2.6. Quadro sinottico (U-Tipologie d'uso delle riproduzioni di beni culturali) delle Linee Guida acquisizione circolazione e riuso.

Il seguente prospetto sintetizza le diverse situazioni che possono presentarsi in concreto e le diverse procedure da seguire per l'acquisizione di una riproduzione fedele (digitalizzata) di un bene culturale pubblico caduto in pubblico dominio.

Le riproduzioni "fedeli" dei beni culturali possono in alcuni casi essere totalmente libere e gratuite (secondo le disposizioni dei sopra citati Decreti MIC) quando sono realizzate per fini di studio o di ricerca scientifica, oppure senza scopo di lucro per libera manifestazione del pensiero o espressione creativa.

Con riguardo alle riproduzioni eseguite o richieste alle PP.AA. allo scopo di pubblicazioni scientifiche, per esempio, non sono dovute *fee* salvo il rimborso del costo sostenuto dalla P.A. per la riproduzione[1], sempre che le fotografie non siano eseguite in proprio e con mezzi propri, quando le immagini sono destinate ad essere pubblicate:

in regime gratuito di *open access*;

su riviste scientifiche e di classe A (secondo gli elenchi ANVUR);

in volumi a cui è riconosciuto carattere scientifico (contributi in volume, atti di convegni nazionali ed internazionali) e accademico;

in giornali e periodici nell'esercizio del diritto-dovere di cronaca;

in cataloghi di arte, mostre e manifestazioni culturali con tiratura limitata a 4.000 copie;

per la realizzazione del materiale espositivo, scientifico, didattico e divulgativo di mostre e manifestazioni culturali organizzate da un organo del Ministero ovvero da enti pubblici e privati per finalità di valorizzazione del patrimonio culturale attuate senza scopo di lucro.

Con riguardo ai modelli tridimensionali le Linee Guida per la digitalizzazione 3D sottoposte a consultazione pubblica e di prossima pubblicazione (vedi *supra* § 1), prevedono (come si è già visto) una distinzione tra modelli che costituiscono riproduzioni "fedeli" dei beni culturali e riproduzioni "non fedeli" con apporto creativo dell'autore. A tal riguardo si deve immaginare che, ogni qual volta il modello sia una riproduzione esatta dell'oggetto culturale tridimensionale realizzata attraverso tecniche documentali (come la fotogrammetria o la scansione laser) si ricada nelle riproduzioni fedeli, mentre si fuoriesce da tale categoria se il modello tridimensionale sia realizzato con sistemi o *tools* di intelligenza artificiale, o consista in forme di *digital art-works* o cripto arte, realizzate in maniera creativa e senza un modello preesistente o senza strumenti di rilievo tecnico.

Nelle ipotesi di riproduzioni tridimensionali fedeli che siano realizzate, come spesso accade, per ragioni di ricerca scientifica non è altresì soggetta la pubblicazione in sé, e nemmeno la pubblicazione del modello tridimensionale, ad alcuna autorizzazione pubblica, e potrà essere liberamente divulgata attraverso riviste in regime di *open access.* Invece, per la pubblicazione su riviste

[1] I costi sono esposti in una apposita tabella contenute nelle Linee guida di attuazione dell'art. 108, Cod. Beni Cult., emanate con D.M. 21 marzo 2024, p. 7.

cartacee o collane o monografie si richiede una semplice comunicazione e in taluni casi di editoria commerciale sono contemplate possibili limitazioni. Diversamente dalla pubblicazione, la condivisione del modello, intesa come messa a disposizione del *file* contenente una rappresentazione grafica tridimensionale del bene culturale, non viene contemplata dalle suddette Linee Guida e ci si può domandare se possa costituire una facoltà, ovvero un obbligo, per coloro che hanno realizzato il modello stesso, metterlo a disposizione del pubblico attraverso caricamento su piattaforma ad accesso aperto, specie ove si tratti di enti pubblici che hanno investito risorse (sempre pubbliche) per la realizzazione dei modelli digitali. Ancora diverso è il caso della pubblicazione dei modelli su piattaforme online che costituiscano un catalogo o una banca dati di museo. Qui il tema cambia e si giunge, così, a trattare dell'ultima questione controversa attinente all'applicazione delle regole dell'*open data* e *open access*.

4. *Il tema della messa a disposizione al pubblico e dell'applicabilità ai modelli 3D delle regole dell'*open data *e* open access

Il quadro normativo europeo si muove da anni nella direzione di rendere liberamente accessibili i dati pubblici incoraggiando la digitalizzazione degli stessi e il loro riuso; tra questi, in particolare, sono interessati dal fenomeno dell'*open access* i risultati delle ricerche, specie se finanziati con fondi pubblici. In particolare, le fonti euro unitarie che meritano di essere richiamate sono, in primo luogo, la direttiva 2019/1024 sui dati prodotti dalla pubblica amministrazione (*Public Sector Information*) che fornisce riferimenti che non possono essere ignorati nel trattare il tema della riproduzione dei beni culturali pubblici, potendosi qualificare come dati pubblici le riproduzioni (anche tridimensionali) dei beni culturali; inoltre, il Regolamento (UE) 2022/868, noto come *Data Governance Act* (DGA) sul riuso dei dati del settore pubblico, in vigore dal 28 settembre 2023; infine, il Regolamento di esecuzione (UE) 138/2023, che stabilisce un elenco di set di dati specifici di alto valore entro i limiti delle sei categorie definite nella Direttiva (UE) 1024/2019 (geospaziali, osservazione della terra e dell'ambiente, meteorologici, statistici, aziende e proprietà delle imprese, e mobilità) e le modalità per la loro pubblicazione e riutilizzo.

Il principio generale a cui si ispira la direttiva PSI è quello di favorire al massimo il riutilizzo dei dati della pubblica amministrazione, *a eccezione dei dati esclusi dal diritto di accesso ai sensi di specifiche norme nazionali* e nel rispetto della normativa sulla protezione dei dati personali. Tra le norme nazionali che limitano il diritto di accesso ci sono le disposizioni del Codice dei Beni culturali, in quanto la direttiva PSI introduce un'eccezione per i dati e documenti detenuti da musei, archivi e biblioteche, la c.d. eccezione culturale al principio dell'*open access* (Croce 2023, p. 179 ss., De Meo 2019, p. 669 ss.). La *ratio* sottostante è quella di rimettere agli Stati membri la funzione di bilancia-

mento tra l'interesse pubblico alla fruizione del patrimonio culturale e quello alla valorizzazione economica del patrimonio stesso, consentendo a ciascun ente museale, archivio o biblioteca di Stato di scegliere la propria policy autorizzatoria per il riutilizzo dei dati e documenti a fini commerciali (art. 3, par. 2, Dir. 2019/1024). Pertanto, in deroga alla politica di liberalizzazione della circolazione del patrimonio informativo pubblico, gli Stati membri possono mantenere in essere gli eventuali regimi autorizzatori previsti dalle legislazioni nazionali e, quindi, subordinare alcuni usi a particolari licenze che ne definiscono limiti e condizioni, purché queste rispondano a un interesse pubblico. In aggiunta gli Stati membri hanno la facoltà di normare la tariffazione in ordine alla cessione e/o al riutilizzo dei dati degli istituti di tutela, richiedendo il pagamento di tariffe superiori ai costi marginali al fine di poter acquisire un congruo utile sull'investimento pubblico richiesto per finanziare le attività di digitalizzazione, pur rimanendo liberi di non richiederne affatto (sulla digitalizzazione del patrimonio culturale v. Finocchiaro 2020; Ferlito 2020).
Il decreto legislativo 18 novembre 2021, n. 200 che recepisce la più recente direttiva PSI andando a modificare il decreto legislativo 24 gennaio 2006, n. 36, presenta alcuni elementi di novità degni di nota. A differenza del passato, in cui il decreto legislativo 18 maggio 2015, n. 102, di recepimento della precedente direttiva PSI, vincolava esplicitamente qualsiasi forma di riutilizzo commerciale dei dati di musei, archivi e biblioteche al pagamento di tariffe, l'attuale decreto di recepimento si limita a stabilire come mera eventualità l'imposizione di costi aggiuntivi, con un rinvio espresso alla disciplina sulle riproduzioni presente nel Codice dei beni culturali. In conclusione, ciò che impedisce la completa messa a disposizione delle immagini, dei dati e dei metadati ottenuti dalla digitalizzazione del patrimonio culturale italiano in regime di *open data* e *open access* è la persistenza di un regime restrittivo sulle riproduzioni delle immagini dei beni culturali (ai sensi dell'art. 108 C.B.C. e successivi decreti attuativi) che autorizza ogni singolo ente, istituto o museo a scegliere la propria politica di sfruttamento economico delle immagini del proprio patrimonio culturale e delle loro riproduzioni.
In estrema sintesi, i principi a cui si ispira questa disciplina sono i seguenti: a) L'acquisizione massiva di serie integrali, o di parti sostanziali della collezione di un istituto, da chiunque richiesta e in qualunque modo essa venga attuata, deve essere oggetto di autorizzazione preventiva da parte dell'istituto che ha in consegna i beni. Si tratta di una misura desunta dal regolamento delle biblioteche statali (DPR 5 luglio 1995, n. 417, art. 49) e ribadita nella circolare n. 39/2017 della Direzione generale Archivi, ma che può essere utilmente estesa alle altre tipologie di beni culturali. L'istituto che ha in consegna il bene deve infatti essere messo nelle condizioni di assicurare la tutela del patrimonio oggetto di riproduzione e anche di essere informato su progetti di digitalizzazione che, per la loro estensione, possono determinare di fatto forme alternative di fruizione del patrimonio culturale. b) Agli istituti di tutela rimane riservato il monopolio dell'alta risoluzione nelle riprese professionali, dal momento che per l'uso di treppiedi, *flash* e strumenti di scansione a con-

tatto sarà sempre necessaria un'autorizzazione. c) Le *Linee Guida recanti regole tecniche per l'apertura dei dati e il riutilizzo dell'informazione del settore pubblico* adottate dall'AgID con Determinazione n. 183/2023 hanno espressamente escluso dall'ambito di applicazione dell'obbligo di *open data e open access* ai sensi del par. 1.2, i dati "su cui terzi detengono diritti di proprietà intellettuale ai sensi della legge 22 aprile 1941, n. 633, ovvero diritti di proprietà industriale ai sensi del decreto legislativo 10 febbraio 2005, n. 30".
Infine, si devono considerare le (già citate) *Linee guida per l'acquisizione, la circolazione e il riuso delle riproduzioni dei beni culturali in ambiente digitale* nelle quali (par. 5.2.) sulla *Digital Library* (Piano Nazionale di digitalizzazione del patrimonio culturale italiano), che regolando la materia del riuso di dati, metadati e immagini del patrimonio culturale, indirizzano l'attività di licenza per il rilascio delle immagini in rete da parte degli istituti culturali pubblici. Nel fare ciò si consiglia l'utilizzo delle licenze "*creative Commons"* e, tra queste, si ritiene che «l'unica dichiarazione compatibile con le norme di tutela italiane sia "NoC-OKLR: No Copyright-Other Known Legal Restrictions" ("No Copyright-Altre Restrizioni Legali Note"). Tale dichiarazione sta a indicare che l'uso dell'immagine non è limitato dal diritto d'autore e/o dai diritti connessi ma da altre norme nazionali, come per esempio il Codice dei beni culturali, che impongono restrizioni all'uso dell'oggetto digitale. A tale dichiarazione si dovranno associare le specifiche condizioni di pubblicazione delle riproduzioni di beni culturali in pubblico dominio di proprietà statale, utile per rendere immediatamente comprensibili al pubblico i termini di riutilizzo delle immagini in base a standard condivisi a livello ministeriale; tali condizioni sono esplicitate in una specifica "etichetta" contenente le condizioni d'uso per le riproduzioni di beni culturali e riportante tale dicitura: Beni Culturali Standard (BCS).
Questa etichetta non è una "licenza" bensì sintetizza il contenuto delle norme vigenti in materia di riproduzione di beni culturali pubblici, definendone i termini d'uso legittimo. L'associazione di questa etichetta alla riproduzione di un bene culturale statale in pubblico dominio a livello di metadati esterni e interni indicherà che la divulgazione del contenuto è libera per fini diversi dal lucro, ovvero, "per finalità di studio, ricerca, libera manifestazione del pensiero o espressione creativa, promozione della conoscenza del patrimonio culturale" ai sensi dell'art. 108, comma 3-*bis* del Codice dei beni culturali e, in particolare, nella dettagliata casistica di utilizzi gratuiti che figurano nel presente documento. Qualsiasi utilizzo commerciale della riproduzione contrassegnata da questa sigla dovrà di conseguenza essere preventivamente autorizzato dall'ente proprietario del bene culturale e potrà essere soggetto alla corresponsione di un corrispettivo economico da parte dell'utente. Chi riutilizza il contenuto contrassegnato dall'etichetta BCS è infine invitato a riportare correttamente la provenienza del bene, indicando l'istituto culturale che conserva il bene medesimo e, possibilmente, anche l'autore/titolo dell'opera o la segnatura archivistica del documento, così come indicato nei metadati che corredano l'oggetto digitale.

Infine, il piano nazionale di digitalizzazione del patrimonio culturale non può che sfociare nella creazione di *database* che fungano non soltanto da *repository* dei dati, metadati e delle immagini dei beni culturali, ma possano diventare un agile strumento di ricerca e analisi del patrimonio, ove accessibili all'esterno (da remoto o da postazioni localizzate all'interno dell'istituto o ente pubblico). La fruizione delle informazioni contenute in tali banche dati ricade nella disciplina del diritto d'autore, il quale contempla un diritto patrimoniale *sui generis* in favore del costitutore della banca dati per ogni attività di estrazione, copia e reimpiego del suo contenuto (art. 102-*bis*, cc. 3 e 6 della legge n. 633/1941). La scelta sulle modalità di utilizzo delle banche dati così create spetta esclusivamente agli istituti culturali pubblici e ai musei (Finocchiaro 2020), specie se i modelli costituiscono anche solo una parte di un catalogo o di una banca dati di museo o altro istituto di tutela, e non rappresenta un obbligo la messa a disposizione, in forza della disciplina vincolistica (di natura pubblicistica) che grava sulle immagini (anche tridimensionali) dei beni culturali.
Tirando le fila del discorso, il sistema peculiare di limitazione delle riproduzioni e delle immagini dei beni culturali italiani contenuto nel Codice dei Beni Culturali (art. 108) e nei successivi decreti attuativi, costituisce una deroga alle regole dell'*open access* e *open data* previsti per i dati pubblici e i risultati delle ricerche in ambito pubblico, attribuendo agli istituti culturali e ai musei la facoltà di scegliere la propria politica di apertura dei dati o di limitato accesso agli stessi, online e offline, nel rispetto dei principi prima richiamati ed anche ricorrendo al diritto d'autore (*rectius* al diritto *sui generis*) sulle banche dati. In particolare, la messa a disposizione al pubblico di immagini del patrimonio culturale (e dunque anche le immagini tridimensionali come quelle dei modelli 3D) deve essere accompagnata da apposita etichetta BCS e la dichiarazione "NoC-OKLR: No Copyright-Other Known Legal Restrictions". Inoltre, devono essere indicati la provenienza del bene, l'istituto culturale che conserva il bene e possibilmente (ma non obbligatoriamente) anche l'autore e il titolo dell'opera o la segnatura archivistica del documento, così come indicato nei metadati che corredano l'oggetto digitale.
Per queste ragioni, si può ritenere che non rientri tra le facoltà spettanti agli autori dei modelli tridimensionali la decisione sulla loro messa a disposizione del pubblico attraverso caricamento su piattaforma ad accesso aperto, neanche nel caso in cui si tratti di enti pubblici che hanno investito risorse (sempre pubbliche) per la realizzazione dei modelli digitali. Tale disciplina risulta essere derogatoria e prevalente rispetto alle altre normative, anche di derivazione europea, cosa che inevitabilmente allontana dall'obiettivo dell'*open access* e dell'*open data* sui dati pubblici digitalizzati dei beni culturali.

Bibliografia

Ammendola, M. (1989). Diritto d'autore: Diritto materiale. In *Digesto delle discipline privatistiche. Sezione commerciale* IV, pp. 372-449. Utet.

Ammendola, M. (1993). Diritto d'autore: Diritto materiale. In L.C. Ubertazzi, M. Ammendola. *Il diritto d'autore*, pp. 13-90. Utet.

Ammendola, M. (2007). Creazione e pubblicazione di opere «sotto il nome» di enti pubblici e privati. *AIDA. Annali Italiani del diritto d'autore, della cultura e dello spettacolo*, 16, pp. 788-792.

Auteri, P. (2023). Diritto d'autore. In AA.VV., *Diritto industriale*, Giappichelli.

Caso, R. (2023). Il David, l'Uomo vitruviano e il diritto all'immagine del bene culturale: verso un'evaporazione del pubblico dominio? Nota a Trib. Firenze, sent. 20 aprile 2023, e Trib. Venezia, ord. 17 novembre 2022. In *Il Foro italiano*, 7–8, I, pp. 2283-2288.

Cogo, A. (2024). Diritti d'autore e connessi. In AA.VV., *Lineamenti di diritto industriale*, pp. 497–616. Cedam-Wolters Kluwer.

Croce, M. (2023). La digitalizzazione delle collezioni museali. Stato dell'arte e prospettive. *Aedon, (2), 179-201.*

De Meo, R. (2019). La riproduzione digitale delle opere museali fra valorizzazione culturale ed economica. *Il Diritto dell'informazione e dell'informatica*, *34,* 669-688.

Ferlito, I. (2020). La digitalizzazione del patrimonio culturale. Verso un «rapporto mimetico» tra software e street art. *Comparazione e diritto civile*, 3, 1099-1140.

Finocchiaro, G. D. (2020). La valorizzazione delle opere d'arte on line e in particolare la diffusione on line di fotografie di opere d'arte. Profili giuridici. *Aedon*, *3*, 197-202.

Galli, P. (2019). Sub art. 2 l.aut. In L. C. Ubertazzi (Ed.), *Commentario breve alle leggi su proprietà intellettuale e concorrenza*, pp. 1645-1662. Cedam-Wolters Kluwer.

Galli, C. (2021). Tutela e valorizzazione dei beni culturali pubblici e privati attraverso la proprietà intellettuale. *Il Diritto industriale*, 2, 119-138.

Modolo, M. (2023). Il canone di concessione sulle riproduzioni di beni culturali pubblici (1892-2023): un profilo storico-critico. In *Le immagini del patrimonio culturale: un'eredità condivisa?. Atti del Convegno (Firenze, 12 giugno 2022).* pp. 32-69. Pacini; Fondazione Aglaia.

Morello, U. M. (2008). Tipicità e *numerus clausus* dei diritti reali. In A. Gambaro, U. M. Morello (Eds.), *Trattato dei diritti reali: Vol. 1. Proprietà e possesso*, pp. 67-212. Giuffrè.

Piola Caselli, E. (1943). *Codice del diritto di autore*, Utet.

Resta, G. (2010). Nuovi beni immateriali e *numerus clausus* dei diritti esclusivi. In G. Resta (Ed.), *Diritti esclusivi e nuovi beni immateriali*, pp. 3-73. Utet.

Resta, G. (2023) [1]. Le immagini dei beni culturali pubblici. Una critica al modello proprietario. *Il Diritto dell'informazione e dell'informatica*, 2, 143-145.

Resta, G. (2023) [2]. L'immagine dei beni culturali pubblici. Una nuova forma di proprietà? In D. Manacorda & M. Modolo (Eds.), *Le immagini del patrimonio culturale: Un'eredità condivisa?* p. 73-90. Pacini Editore.

Resta, M. S. (2025). Riproduzione delle immagini dei beni culturali e nuove tecnologie tra diritto d'autore, diritti connessi e diritto sui generis. *Il Diritto dell'informazione e dell'informatica*, 3, 337-378.

Ricolfi, M. (2024). Le immagini del patrimonio culturale. Illusioni perdute o nuove direzioni di marcia? *Il Diritto dell'informazione e dell'informatica*, 1, 1-13.

Sappa, C. (2022) [a]. Qualche prima osservazione sul nuovo art. 32-quater l.a. *Giurisprudenza italiana*, 5, p. 1262-1272.

Sappa, C. (2022) [b]. Hosting the public domain into a minefield: the resistance to art. 14 of the DSM Directive and to the related rules that transpose it into national law. *Journal of Intellectual Property Law & Practice, 17* (11), 924–939.

Sarti, D. (2000). Questioni in tema di fotografie di "oggetti materiali", *AIDA, 2000*, p. 611-615.

Tommasini, M. F. (2023). NFT o crypto art: Inquadramento giuridico e prospettive di tutela nel mercato digitale. *Jus Civile*, 3, 610-627.

Vessia, F. (2024) [1]. *I diritti sulle immagini dei beni culturali italiani. Tra retroguardia proprietaria e innovazione liberale.* Immersinscena. https://www.immersinscena.org/diritti-immagini-beni-culturali/ 15.04.2024

Vessia, F. (2024) [2]. La riforma della disciplina delle invenzioni accademiche e del settore pubblico. Dal professor's privilege alla titolarità istituzionale con un passo del Pnrr. *Orizzonti del Diritto Commerciale*, 3, 977 spec. 911.

Vessia, F., Lopopolo, S. (2024). *DAW, NFT, IA e diritti sulle immagini dei beni culturali.* Immersinscena. https://www.immersinscena.org/daw-nft-ia-e-diritti-sulle-immagini-dei-beni-culturali/ 25.11.2024.

Giurisprudenza citata:

CGUE, 4 ottobre 2011, cause riunite C-403/08 e C-429/08, caso *Premier League*;
CGUE, 1° dicembre 2011, causa C-145/10, caso *Painer*;

Cass. civ., 12/03/2004, n. 5089, in De Jure;

Trib. Roma, 12 luglio 2019, in AIDA, 2020, p. 1932;

Trib. Napoli 2012;

Trib. Roma 1998;

Trib. Napoli 1990

Cass. civ. (ord.), 07/02/2020, n. 2981, in De Jure;

Tribunale Sez. spec. Impresa - Roma, 11/03/2021, n. 4361, in AIDA, 2021, 1, p. 825;

App. Bologna, 28 febbraio 2006, in *AIDA*, 2007, 785 ss.

Trib. Napoli, 24 luglio 2012, in Rep. AIDA 2014, 1036;

Trib. Roma, 24 febbraio 1998, in Dir. Inf., 1998, 793 ss.;

Trib. Napoli, 20 febbraio 1990, in IDA, 1991, 369 ss..

4.

Il Progetto D-TECH



Schermata di avvio della piattaforma D-TECH.

D-TECH.
Un ambiente digitale federato per la gestione, l'uso e la valorizzazione dei dati 3D del patrimonio culturale

Marco Canciani, Mauro Saccone, Giovanna Spadafora
Dipartimento di Architettura (Università degli Studi Roma Tre)

Carla Masetti
Dipartimento di Studi Umanistici (Università degli Studi Roma Tre)

Marialuisa Mongelli
Divisione per lo Sviluppo Sistemi per l'Informatica e l'ICT (ENEA)

Negli ultimi anni la digitalizzazione del patrimonio culturale ha progressivamente superato la dimensione della sperimentazione, affermandosi come ambito operativo ormai strutturato e consolidato. L'evoluzione e la diffusione di tecniche di acquisizione sempre più mature – tra cui *laser scanning*, fotogrammetria, *mobile mapping,* integrazione con sistemi GIS e processi HBIM – hanno reso possibile la produzione di modelli digitali ad alta accuratezza di opere, edifici e siti complessi. Parallelamente, lo sviluppo di soluzioni web per la visualizzazione tridimensionale, e la crescente accessibilità di applicazioni di realtà aumentata e realtà virtuale, hanno esteso in modo significativo i campi di impiego dei dati 3D, non solo nell'ambito della documentazione e dell'analisi diagnostica, ma anche a supporto dei processi di valorizzazione, conservazione e gestione del patrimonio.
Contestualmente, è emersa con sempre maggiore evidenza una criticità di carattere strutturale: la capacità di produrre dati tridimensionali si è sviluppata più rapidamente rispetto alla capacità di conservarli, descriverli, organizzarli, condividerli e riutilizzarli secondo modalità efficaci e sostenibili. Numerose istituzioni hanno infatti accumulato ingenti quantità di dati senza poter contare su infrastrutture adeguate alla loro gestione, con il rischio che tali risorse rimangano inutilizzate all'interno di archivi frammentati, obsoleti e caratterizzati da formati eterogenei e da una carenza di metadati. Tale condizione

compromette l'aderenza ai principi FAIR e rischia di impedire che investimenti pubblici significativi si traducano in un valore stabile e durevole in termini di conoscenza, interoperabilità, gestione e fruizione del patrimonio.
È proprio per colmare questo divario, determinato da una crescente abbondanza di dati a fronte della persistente fragilità delle infrastrutture di gestione, che è stato sviluppato il Progetto D-TECH (Digital-Twin Environment for Cultural Heritage), finanziato dal Distretto Tecnologico per le nuove tecnologie applicate ai beni e alle attività culturali della Regione Lazio (DTC) e realizzato dal Dipartimento di Architettura (capofila) e dal Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università degli Studi Roma Tre, in collaborazione con la Divisione per lo Sviluppo Sistemi per l'Informatica e l'ICT di ENEA. Esito principale del progetto è stata la realizzazione di una piattaforma web-based, multimediale e open source, concepita per mettere in relazione modelli 3D, nuvole di punti e dati GIS con la struttura semantica dell'ontologia ArCo, offrendo un ambiente modulare rivolto sia alle istituzioni preposte alla tutela del patrimonio, sia ai soggetti impegnati nelle attività di studio, valorizzazione e ricerca.

Le fasi del progetto

Il progetto D-TECH ha preso avvio formalmente nell'ottobre 2021 ed è giunto a conclusione nel gennaio 2024, al termine di un percorso esteso a 27 mesi, comprensivi di una proroga di nove mesi rispetto alla durata inizialmente prevista. La sua articolazione in Work Package presentava una suddivisione di ruoli in base alle competenze specifiche dei partner: il WP1 sotto la responsabilità del Dipartimento di Architettura aveva come oggetto il coordinamento, il monitoraggio della qualità, la sostenibilità e la disseminazione dei risultati; il WP2 co-gestito dai due dipartimenti di Roma Tre, Architettura e Studi Umanistici, è stato dedicato alle strategie e ai contenuti della piattaforma, con attività di ricognizione delle necessità dei luoghi della cultura, raccolta delle tipologie di dati e metadati, censimento degli open data e definizione di best practice, standard e allineamenti ontologici; il WP3, affidato a ENEA, ha riguardato lo sviluppo del KORE e dell'architettura software del singolo nodo, fino al *Proof of Concept* e al primo rilascio della piattaforma; infine, i WP4 e WP5, curati dal Dipartimento di Architettura sono stati rivolti ai servizi avanzati di visualizzazione 3D, GIS, AR e VR. Nel corso del progetto sono state, inoltre, conseguite le principali milestone previste dal cronoprogramma, dall'avvio formale – con l'individuazione dei responsabili dei WP e dei task – alla verifica delle soluzioni architetturali del KORE, fino al test del *Proof of Concept* della piattaforma e dei servizi avanzati. Parallelamente, le attività sono state accompagnate dalla produzione dei deliverable e da una costante reportistica e da un monitoraggio continuo del cronoprogramma, oltre che da un proficuo confronto tra i partner e da attività di disseminazione scientifica. Il progetto ha previsto una strategia articolata di comunicazione scientifica e istituzionale. Questa ha comportato la pubblicazione delle informazioni progettuali sui portali del DTC Lazio e

del Dipartimento di Architettura, la realizzazione del sito web dedicato[1], e l'organizzazione di un evento di scouting e lancio (18 maggio 2022 presso l'Università degli Studi Roma Tre) volto a presentare obiettivi, identità visiva e potenzialità della piattaforma a una rete ampliata di luoghi della cultura e potenziali soggetti interessati. I risultati sono stati infine condivisi in convegni, nazionali e internazionali attraverso relazioni, poster e sessioni tematiche dedicate. A coronamento di tutte le attività, il 5 dicembre 2024 è stata organizzata una Giornata di Studi, cui è seguita la pubblicazione dei presenti Atti. Il lavoro di ricerca condotto, basato sulla scansione dei compiti nei diversi WP e sulla continua condivisione delle procedure, ha progressivamente costruito, anche attraverso i necessari adattamenti, le condizioni operative per la definizione di una piattaforma compiuta e pienamente funzionante.

Dalla pura visualizzazione al modello come infrastruttura operativa

Il termine *digital twin* è stato ampiamente impiegato, assumendo significati differenti in relazione ai diversi ambiti applicativi. Nel settore del patrimonio culturale, esso non coincide con il solo modello tridimensionale, ma si arricchisce di informazioni relative al contesto, alle fonti, ai processi di acquisizione, e di altri dati che contribuiscono a rendere la copia digitale un oggetto interrogabile e annotabile. In altri termini, ciò che trasforma un rilievo o una *mesh* in un autentico ambiente di conoscenza è la sua capacità di configurarsi come supporto attivo agli studi sul patrimonio.
D-TECH è stato concepito a partire da questa consapevolezza. Fin dalla fase di progettazione, la piattaforma è stata orientata verso due obiettivi strettamente interrelati. Da un lato, essa è stata sviluppata per consentire l'archiviazione e la condivisione – attraverso strumenti di visualizzazione, funzionalità di editing 3D e ambienti immersivi – delle copie digitali e dei relativi metadati di beni messi a disposizione dai luoghi della cultura; dall'altro, è stata progettata per offrire servizi web rivolti ad amministratori e gestori che, pur detenendo la titolarità dei dati, potrebbero non disporre di risorse hardware e software adeguate o di competenze specialistiche sufficienti per garantirne la conservazione e la fruizione, anche secondo modalità selettive e controllate verso l'esterno. Inoltre, la piattaforma si propone di configurarsi come strumento di supporto al monitoraggio delle attività diagnostiche e manutentive, con il potenziale effetto di ridurre gli investimenti per la conservazione del bene.
Il progetto si colloca nel più ampio processo di transizione digitale che ha interessato le istituzioni culturali e la ricerca, richiamando questioni centrali, relative alla qualità, alla quantità e alla sedimentazione della conoscenza digitale (Masetti & Spadafora, 2024). In questo quadro, il tema non riguarda soltanto l'acquisizione dei dati 3D, ma soprattutto la loro governance e, quindi,

[1] dtech.uniroma3.it.

la necessità di ricondurli entro procedure trasparenti che ne garantiscano la riusabilità e l'interoperabilità con altri sistemi con una chiara attribuzione delle responsabilità. Per questo, il progetto è stato incentrato su tecnologie open source e open data, che rappresentano un paradigma fondamentale per favorire diffusione e riuso del patrimonio informativo prodotto dalle istituzioni culturali, promuovendo pratiche di condivisione fondate sui principi FAIR e sulla trasparenza, pur nel rispetto dei vincoli normativi, etici e conservativi propri del settore.
Da qui deriva l'attenzione della piattaforma D-TECH verso una prospettiva coerente con le logiche dei Linked Open Data, senza tuttavia rinunciare alle indispensabili cautele connesse alla proprietà intellettuale, alla tutela della privacy e alle politiche di accesso.

Una piattaforma open-source, modulare e federata: autonomia istituzionale e interoperabilità

Uno dei tratti distintivi di D-TECH è rappresentato dalla scelta architetturale adottata: non un unico "portale centrale" nel quale far confluire forzatamente tutti i dati, bensì un ecosistema distribuito a nodi, entro il quale ciascuna istituzione può ospitare la propria istanza e mantenere il controllo diretto sui propri asset digitali. Tale impostazione risponde a un'esigenza concreta delle amministrazioni pubbliche e dei luoghi della cultura, ossia garantire il controllo operativo, la tutela della titolarità dei dati e la possibilità di definire in modo autonomo i livelli di condivisione. Al tempo stesso tale architettura "federata" consente forme di cooperazione e integrazione, in particolare attraverso la condivisione dei metadati e delle modalità di visualizzazione, lasciando ai soggetti gestori la facoltà di determinare la collocazione effettiva dei dati, anche secondo configurazioni cloud o ibride.
Dal punto di vista funzionale, la piattaforma non è stata concepita come un semplice strumento di visualizzazione di modelli 3D. L'obiettivo è stato piuttosto quello di offrire un ambiente nel quale le copie digitali potessero essere inserite in un ciclo di vita più ampio e strutturato che abbracci tutte le fasi della cosiddetta "catena del valore" (conoscenza, diagnostica, conservazione, restauro, valorizzazione, godimento e gestione). Ed è proprio attraverso le fasi di inserimento del bene nella piattaforma, della sua descrizione e annotazione semantica che il *digital twin*, lungi dal configurarsi come esito conclusivo di un processo, si trasforma in un dato dinamico, incrementale e progressivamente arricchibile.
Il progetto si è inoltre ispirato a una visione orientata alla sostenibilità nel medio e lungo periodo. L'adozione di soluzioni open source ha reso verificabili le scelte tecniche e i modelli dati; la modularità della sua architettura ha consentito l'evoluzione del sistema senza vincoli riconducibili a soluzioni proprietarie; l'impiego di componenti consolidati ha altresì agevolato le attività di manutenzione e adattamento; infine, l'allineamento semantico con standard nazio-

nali, quali ArCo, favorirà l'interoperabilità e l'integrazione con altri ecosistemi informativi.

Metadati e semantica: l'allineamento ad ArCo come scelta strategica

Una piattaforma destinata alla gestione di dati patrimoniali fortemente eterogenei e alla raccolta dei metadati relativi alle copie digitali non avrebbe potuto fondarsi su schede di catalogazione *ad hoc*, di difficile condivisione e scarsamente interoperabili. Per tale ragione, D-TECH ha assunto l'ontologia ArCo (Architettura della Conoscenza) quale impianto concettuale di riferimento per la descrizione e l'organizzazione dei contenuti, con l'obiettivo di garantire coerenza terminologica e interoperabilità. I metadati hanno, quindi, assunto una funzione centrale, divenendo l'elemento capace di mettere in relazione le copie digitali con i beni culturali di riferimento, gli attori coinvolti – persone e organizzazioni –, i luoghi, gli eventi e la documentazione correlata.
La struttura semantica adottata è stata articolata in insiemi informativi logicamente distinti ma reciprocamente interconnessi. I campi descrittivi integrano classificazioni, georeferenziazione, responsabilità istituzionali, cronologie e includono le caratteristiche tecniche e di provenienza dei file, quali formati, natura della copia, presenza di texture, contesto di acquisizione, licenze, ruoli e responsabilità scientifiche. Tale impostazione evita che i modelli 3D rimangano "oggetti muti", privi di un adeguato contesto informativo: ciascuna copia digitale è collocata entro una rete strutturata di relazioni, indispensabile tanto per le finalità di ricerca quanto per quelle di gestione e valorizzazione.
L'impianto semantico così definito si apre ai paradigmi Linked Open Data e modalità avanzate di interrogazione dei dati (come il triplestore e query SPARQL), facilitando l'integrazione con risorse esterne e con ulteriori ecosistemi informativi. Questa scelta si colloca in continuità con i più recenti studi sui *digital twin* applicati al patrimonio culturale e risponde all'esigenza di disporre di strutture dati in grado di sostenere nel tempo non solo il riuso ma anche l'interoperabilità e l'evoluzione incrementale del sistema (Felicetti & Niccolucci, 2023; Niccolucci & Felicetti, 2024; Hermon *et al.*, 2022; Luther *et al.*, 2023).

Architettura tecnica:
microservizi, orchestrazione e "KORE" come cuore della piattaforma

Per garantire modularità, scalabilità e possibilità di *deployment* in contesti istituzionali differenziati, D-TECH ha adottato un'architettura a microservizi, orchestrata tramite Kubernetes[2]. L'impiego di container Docker e di mecca-

[2] Piattaforma open source per la gestione di applicazioni containerizzate https://kubernetes.io/.

nismi di coordinamento automatico dei servizi ha consentito di distribuire, aggiornare e manutenere i diversi componenti in modo controllato, riducendo la dipendenza da configurazioni monolitiche e favorendo l'evoluzione progressiva del sistema.
Nel disegno complessivo della piattaforma, il nucleo centrale – denominato KORE – ha integrato un sistema di archiviazione e un database relazionale destinati alla raccolta e alla gestione dei dati e dei metadati prodotti dai luoghi della cultura e dagli utenti. L'architettura è stata organizzata secondo una distinzione funzionale tra un *back-end*, deputato all'acquisizione e alla gestione dei contenuti, inclusi i metadati, e un *front-end*, orientato alla visualizzazione e all'interazione. L'intero *stack* ha inoltre compreso servizi interni per l'autenticazione, la gestione dei dati, l'esposizione di API di comunicazione e l'integrazione con strumenti di *backup*. Al di fuori dell'orchestrazione principale sono stati previsti servizi esterni per i dati di registro, tipicamente basati su database PostgreSQL, nonché un repository di tipo *object storage* (S3 o soluzioni equivalenti), coerente con esigenze di scalabilità e conservazione.
Per quanto concerne il framework operativo impiegato nella gestione dei dati e nella costruzione dell'interfaccia, lo *stack* ha fatto ricorso a Directus (TypeScript, Node.js, Vue.js), selezionato per la sua architettura modulare ed estendibile e per la capacità di esporre nativamente API utili all'integrazione di componenti e funzionalità differenti. La logica applicativa è stata progettata secondo criteri di accessibilità e usabilità, così da ridurre le barriere sia all'inserimento sia alla consultazione dei dati: un aspetto particolarmente rilevante in un contesto nel quale l'utenza di riferimento non coincide necessariamente con profili tecnici, ma include funzionari, curatori, ricercatori e operatori della tutela.
Un elemento particolarmente significativo dell'impostazione federata è rappresentato dalla separazione tra metadati e asset digitali. Ciascuna istituzione può infatti stabilire se rendere condivisibile una parte o la totalità del patrimonio informativo di cui detiene la titolarità, pubblicando verso un repository centralizzato, ospitato nei server di ENEA, i soli metadati e i dati di registro. I modelli 3D, al contrario, possono rimanere fisicamente collocati presso il nodo dell'ente, che continua a esercitare il controllo sulle modalità di accesso, visualizzazione e sulle relative policy di gestione. In tal modo risultano conciliate due esigenze, spesso in tensione tra loro: da un lato, la costruzione di una rete interoperabile capace di abilitare processi di diffusione dei modelli 3D e aggregazione; dall'altro, il mantenimento in sede degli asset più sensibili, nel rispetto dei vincoli di titolarità e delle regole di gestione definite dai singoli soggetti responsabili.

Visualizzazione e interazione: 3D, AR e VR

La componente di visualizzazione ha rappresentato uno degli elementi decisivi nel distinguere un semplice archivio da una piattaforma effettivamente

utilizzabile e capace di generare valore conoscitivo e operativo. D-TECH ha integrato diversi motori di visualizzazione open source, al fine di rispondere a esigenze differenziate e mantenere un accesso web unificato, fruibile sia da desktop sia da dispositivi mobili.
Particolarmente significativa è risultata la logica d'uso definita per l'interazione con i contenuti. L'utente può infatti passare dalla galleria delle anteprime alla scheda descrittiva, contenente i metadati della copia digitale o del bene culturale di riferimento, oppure accedere direttamente al viewer 3D.
La visualizzazione tridimensionale di base si affida all'integrazione di 3DHOP (Potenziani *et al.*, 2015), un ambiente consolidato per la presentazione web di modelli 3D multirisoluzione, dotato di funzionalità quali misurazioni, piani di sezione, acquisizione di screenshot e ulteriori strumenti utili alla consultazione e a una prima analisi dei contenuti. Per la visualizzazione avanzata e per le esperienze immersive, la piattaforma D-TECH utilizza il framework ATON (Fanini *et al.*, 2021). Quest'ultimo amplia significativamente le possibilità includendo strumenti di annotazione, di editing e creazione di hotspot informativi. All'interno di ATON, oltre alle funzionalità descritte, la piattaforma ha consentito l'integrazione di scenari di realtà aumentata e virtuale, accessibili via web attraverso WebXR, senza bisogno di software aggiuntivi e visualizzabili grazie a un QR code.
Tale soluzione ha semplificato l'accesso alla tecnologia e ha reso più semplice e immediato l'accesso ai contenuti digitali, favorendone la fruizione sia *in situ* (quindi direttamente nell'ambiente museale o in cantiere) sia da remoto.
Di particolare rilievo è stata inoltre la scelta di mettere a disposizione, per gli utenti appartenenti alle istituzioni coinvolte, funzionalità di editing finalizzate sia all'inserimento di hotspot puntuali o areali sul modello, sia al collegamento di testi, immagini, link, documenti e note. In questa accezione, il *digital twin* si è configurato come un vero e proprio ambiente di lavoro condiviso: uno spazio nel quale segnalare criticità relative allo stato di conservazione e/o a documentati fenomeni di degrado, oltre alla possibilità di inserire osservazioni utili ad avviare confronti di carattere interdisciplinare. La visualizzazione tridimensionale, pertanto, non costituisce il fine ultimo del processo, ma si configura come l'interfaccia operativa attraverso cui generare metadati e attivare processi di studio, tutela e valorizzazione.

Ruoli, accessi e governance: sicurezza e differenziazione delle responsabilità

Per essere adottata da istituzioni pubbliche e gestori del patrimonio, la piattaforma ha dovuto garantire una governance "credibile". Questo ha significato definire chiaramente chi potesse accedere ai contenuti, chi potesse modificarli, chi ancora fosse responsabile delle varie versioni dei file. Per tali ragioni, D-TECH ha adottato un sistema di controllo degli accessi basato su tre ruoli e capace di distinguere in modo chiaro le diverse categorie di utenti e i corrispondenti livelli di autorizzazione.

Pertanto, sono stati individuati, amministratori di sistema, creatori di contenuti e visualizzatori. La categoria degli amministratori può a sua volta articolarsi in sottoruoli distinti, connessi rispettivamente al *deployment* dell'infrastruttura, alla gestione del database e dell'archivio, nonché all'amministrazione della piattaforma. I creatori di contenuti possono operare per il caricamento, la modifica e la gestione dei dati, mentre i visualizzatori hanno accesso ai contenuti secondo policy definite dall'istituzione, in funzione delle relative strategie di diffusione e valorizzazione.
Questa gestione dei permessi non ha costituito un elemento accessorio della piattaforma, ma una condizione essenziale per il passaggio da un semplice *repository* a un autentico ambiente di lavoro. In numerosi contesti, infatti, la medesima copia digitale richiede livelli differenziati di fruizione: un modello semplificato e pubblicabile per finalità divulgative; un dataset metrico ad alta densità, quale una nuvola di punti, riservato a usi tecnici; documentazione diagnostica accessibile in forma ristretta; metadati minimi destinati alla *discovery* pubblica. La piattaforma ha dovuto pertanto sostenere tale complessità senza risultare poco trasparente o difficilmente gestibile, e lo ha fatto mediante un'impostazione chiara, strutturata e replicabile.

Scenari d'uso: tutela, ricerca, produzione culturale e pubblico

L'ambizione di D-TECH è stata quella di offrire un'infrastruttura trasversale, in grado di sostenere una pluralità di scenari applicativi senza ridursi a uno strumento specialistico destinato a un unico uso. In tale prospettiva, la piattaforma ha mostrato una particolare adeguatezza rispetto a quattro ambiti tra loro strettamente interconnessi.
Per i gestori del patrimonio e per le istituzioni preposte alla tutela, l'interesse principale risiede nella disponibilità di un ambiente all'interno del quale conservare, visualizzare e utilizzare dati 3D, mettendo in relazione copie digitali e metadati e abilitando processi di monitoraggio, manutenzione preventiva e supporto alle decisioni. La possibilità di confrontare nel tempo versioni differenti e successive campagne di acquisizione ha inoltre aperto a una dimensione propriamente "4D", utile per leggere trasformazioni, fenomeni di degrado e interventi. In questa logica, la piattaforma ha potuto dialogare con approcci di gestione informativa e di controllo dei dati affini a prospettive di *Master Data Management* già sperimentate in ambito culturale (Spettu *et al.*, 2024), nonché con riflessioni relative a piattaforme integrate per il patrimonio a rischio e per la gestione delle emergenze (Raco, 2022).
Per quanto riguarda la ricerca interdisciplinare e la formazione, D-TECH ha consentito un accesso integrato a modelli, documenti e metadati, favorendo confronti tipologici, letture stratigrafiche, analisi comparative e percorsi didattici. La possibilità di interrogare i dataset mediante filtri spaziali e temporali, nonché di collegare fonti iconografiche e testuali, ha reso l'ambiente utile a un ampio spettro di discipline, tra cui l'archeologia, l'architettura, il restauro, la

storia dell'arte, l'ingegneria e le *digital humanities*. In tale prospettiva, l'integrazione tra 3D e GIS – già consolidata in esperienze precedenti – ha costituito un riferimento significativo per la costruzione di letture complesse e contestuali del patrimonio (Canciani *et al*., 2020).
Per il settore produttivo e per le industrie culturali e creative, la piattaforma può abilitare forme di collaborazione controllata nei casi in cui l'istituzione scelga di rendere disponibile una parte dei dati. Ciò renderebbe possibile, ad esempio, l'integrazione di contenuti 3D in siti e applicazioni, la realizzazione di narrazioni in realtà aumentata geolocalizzate, installazioni immersive, mostre digitali e *serious game*. Il punto centrale non è la liberalizzazione indiscriminata degli asset, bensì la possibilità di definire policy e licenze in modo puntuale, stimolando al contempo servizi innovativi a valore aggiunto, in linea con esperienze che hanno mostrato come i digital twin dei beni culturali possano contribuire in modo significativo alla fruizione e alla valorizzazione del patrimonio (Canciani & Saccone, 2020).
Infine, rispetto al pubblico e ai processi di valorizzazione, D-TECH estende le possibilità di accesso al patrimonio prima, durante e dopo la visita, attraverso anteprime e tour virtuali da remoto, l'elaborazione di contenuti in realtà aumentata *in situ*, la gestione di approfondimenti post-visita e l'ideazione di percorsi personalizzabili e multilingue. L'accessibilità via web e la possibilità di attivare esperienze immersive senza la necessità di software aggiuntivi hanno consentito di immaginare forme di "turismo aumentato" e una relazione più continua con il bene culturale, anche in condizioni di accesso limitato. In questo quadro, esperienze internazionali di piattaforme di documentazione digitale orientate alla fruizione sono state assunte come riferimento culturale e metodologico (Vileikis *et al*., 2023), pur nella specificità del contesto italiano e nel costante allineamento all'ontologia ArCo.

D-TECH nel panorama dei digital twin per i beni culturali

Nel quadro delle piattaforme riconducibili al tema del *digital twin*, D-TECH ha dunque assunto una configurazione specifica. Il progetto non è stato concepito come semplice "vetrina" di una collezione chiusa e preventivamente definita, bensì come ambiente aperto e progressivamente implementabile, nel quale diversi soggetti gestori possono adottare un proprio nodo e contribuire nel tempo all'arricchimento del sistema. In questo modo ciascun soggetto mantiene la titolarità dei propri dati, partecipando al contempo alla costruzione di un ecosistema digitale condiviso attraverso la pubblicazione e l'integrazione progressiva di modelli e contenuti informativi. Questa configurazione consente di superare una visione statica del *digital twin*, favorendo invece un approccio dinamico e collaborativo alla gestione della conoscenza sul patrimonio culturale. Tale impostazione risulta coerente con l'orientamento secondo cui, nel contesto museale e del patrimonio culturale, i *digital twin* non debbano essere intesi come meri dispositivi tecnologici, ma come sistemi complessi che

richiedono infrastrutture adeguate, regole di gestione chiaramente definite e strutture dati solide e ben organizzate (Luther *et al*., 2023; Crespi *et al*., 2023). La scelta dell'open source, la modularità architetturale e l'attenzione ai principi FAIR collocano la piattaforma entro un quadro orientato alla trasparenza e alla sostenibilità, aspetti particolarmente rilevanti quando i dati sono prodotti mediante finanziamenti pubblici e devono poter rimanere accessibili e riusabili nel lungo periodo.
La piattaforma ha, inoltre, raccolto l'eredità delle precedenti esperienze sviluppate all'interno del medesimo ecosistema regionale del Distretto Tecnologico, quali ADAMO ed ECODIGIT, richiamate come esempi di applicazioni orientate alla gestione dei dati per il patrimonio culturale (Mongelli & Puccini, 2024). In questo senso, D-TECH si è configurato come un ambiente generalizzato, capace di ospitare e connettere dataset eterogenei e di offrire una base riusabile in contesti istituzionali differenziati, secondo una logica propriamente infrastrutturale.

Sviluppi e prospettive emerse dalla conclusione del progetto

Progettato per durare nel tempo, l'ambiente digitale D-TECH è strutturato per evolvere secondo linee di sviluppo già chiaramente delineate.
Una possibile linea di sviluppo riguarda il rafforzamento del layer semantico. I dati oggi gestiti dalla piattaforma potrebbero essere trasformati in triple RDF e resi disponibili attraverso un triplestore, interrogabile mediante query SPARQL. Una simile evoluzione consentirebbe di pubblicare e condividere i dati secondo logiche Linked Open Data, favorendo l'interoperabilità con risorse esterne e l'integrazione con altri nodi o sistemi informativi. L'adozione di un'infrastruttura RDF/SPARQL renderebbe inoltre possibile sviluppare forme più avanzate di interrogazione trasversale, attivare meccanismi di inferenza semantica e sperimentare processi di arricchimento automatico dei contenuti. Nel lungo periodo, questo assetto potrebbe sostenere anche servizi basati sull'intelligenza artificiale, finalizzati al riconoscimento di entità e alla generazione di suggerimenti per la catalogazione, sempre all'interno di un quadro controllato, trasparente e verificabile.
Un secondo futuro sviluppo potrebbe riguardare l'integrazione di ulteriori visualizzatori ottimizzati per specifiche tipologie di dati. In particolare, l'introduzione di un *viewer* BIM, dedicato al formato IFC, rappresenterebbe un'evoluzione coerente per gestire modelli architettonici complessi e per il loro allineamento con flussi di manutenzione programmata, in continuità con esperienze BIM-GIS applicate al patrimonio culturale (Colucci *et al*., 2023). Parallelamente, l'adozione di un visualizzatore avanzato per nuvole di punti ad alta densità, dotato di strumenti di classificazione e analisi interattiva, completerebbe le funzionalità già offerte da 3DHOP e ATON, ampliando il ventaglio dei possibili impieghi tecnico-scientifici.

Una terza e ultima prospettiva potrebbe interessare il potenziamento della compatibilità con le infrastrutture nazionali emergenti per l'archiviazione e la conservazione dei dati 3D, in linea con le iniziative promosse dal Ministero della Cultura. In un'architettura ibrida, D-TECH potrebbe mantenere nei nodi locali i metadati e gli strumenti di gestione e visualizzazione, mentre i dati grezzi potrebbero essere ospitati presso servizi centralizzati o cloud nazionali, garantendo scalabilità e conformità normativa alle politiche di conservazione. Infine, lo sviluppo di moduli API e di framework dedicati potrebbe consentire a musei e ad amministrazioni di incorporare e di pubblicare modelli 3D e metadati in modo dinamico, evitando la duplicazione degli archivi e la necessità di sviluppare soluzioni personalizzate.

Gruppo di ricerca e partner del progetto

Dipartimento di Architettura - Università Roma Tre
Marco Canciani (Coordinatore Tecnico Scientifico)
Giovanna Spadafora (Vice Coordinatore Tecnico Scientifico)
Mauro Saccone (Assegnista)

Dipartimento di Studi Umanistici- Università Roma Tre
Carla Masetti
Arturo Gallia

Divisione per lo Sviluppo Sistemi per l'Informatica e l'ICT (Enea)
Marialuisa Mongelli
Marco Puccini (Assegnista)
Beatrice Calosso
Andrea Quintiliani

Équipe Images et Modèles - Laboratoire d'Informatique et Systèmes (CNRS)
Pierre Drap

Impresa OverIT
Francesco Genovesi
Michaela Rodriguez
Riccardo Vacca

Riferimenti bibliografici

Canciani, M., & Saccone, M. (2020). Progetto Ecodigit: fruizione di GIS e 3D data nell'ambito dei Beni Culturali. *Atti del I Convegno annuale: Roma, 30 settembre 2019.* pp. 33-35. DTC Lazio, Distretto tecnologico beni e attività culturali, Centro di eccellenza.

Canciani, M., Gallia, A., Masetti, C., Migliori, S., Mongelli, M., Puccini, M., Quintiliani, A., Saccone, M., & Spadafora, G. (2020). Modelli 3D e dati GIS: una loro integrazione per lo studio e la valorizzazione dei beni culturali. *Archeomatica*, 11(2).

Colucci, E., Iacono, E., Matrone, F., & Ventura, G. M., (2023). The development of a 2D/3D BIM-GIS web platform for planned maintenance of built and cultural heritage: The MAIN10ANCE project. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *48*, pp. 433-439.

Crespi, N., Drobot, A.T., & Minerva, R. (a cura di). (2023). The digital twin: What and why? In N. Crespi, A. T. Drobot, & R. Minerva (Eds.), *The Digital Twin* pp. 3-20. Springer. .

Fanini, B., Ferdani, D., Demetrescu, E., Berto, S., & d'Annibale, E. (2021). ATON: An Open-Source Framework for Creating Immersive, Collaborative and Liquid Web-Apps for Cultural Heritage. *Applied Sciences*, 11(22), 11062.

Felicetti, A., & Niccolucci, F. (2023). Gemelli digitali e gestione dei dati del patrimonio culturale. In *Conferenza GARR 2023-Saperi*.

Hermon, S., Niccolucci, F., Bakirtzis, N., & Gasanova, S. (2022). *Digital Twins in Cultural Heritage*. Available at SSRN: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4274457

Luther, W., Baloian, N., Biella, D., & Sacher, D. (2023). Digital Twins and Enabling Technologies in Museums and Cultural Heritage: An Overview. *Sensors, 23*, 1583, pp. 1-28.

Masetti, C., & Spadafora, G. (2024). *Digital Humanities, patrimonio culturale e applicazioni geostoriche. Atti del Convegno, Roma, 5–7 dicembre 2022*. Labgeo Caraci.

Mongelli, M., &Puccini, M. (2024). ENEA ICT: evoluzione di un percorso per la catena del valore dei beni culturali. In Masetti C., Spadafora G. (eds.). *Digital Humanities, patrimonio culturale e applicazioni geostoriche. Atti del Convegno, Roma, 5–7 dicembre 2022*. pp. 383-396. Labgeo Caraci.

Niccolucci, F., & Felicetti, A. (2024). Il futuro digitale di 4CH: il gemello digitale dei beni culturali. *DigItalia, 19(2)*, pp. 117-125.

Potenziani, M., Callieri, M., Dellepiane, M., Corsini, M., Ponchio, F., & Scopigno, R. (2015). 3DHOP: 3D heritage online presenter. *Computers & Graphics*, 52, pp. 129-141.

Raco, F. (2022). Integrated digital platforms for the documentation and management of cultural heritage at risk. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *48(3/W1-2022)*, pp. 45-52.

Spettu, F., Parri, S., Quaroni, P., Achille, C., & Fassi, F. (2024). Towards Master Data Management for Cultural Heritage: The Sacri Monti Web Platform. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 48(2/W4-2024)*, pp. 421-428.

Vileikis, O., Rigauts, T., Rouhani, B., Ziane Bouziane, M., & Santana Quintero, M. (2023). Dive into Heritage: A digital documentation platform of World Heritage properties in the Arab States region. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 48,* pp. 1613-1620.

Autori

Giovanna Spadafora
Professore associato di Disegno presso il Dipartimento di Architettura dell'Università Roma Tre, dal 2025 è coordinatrice del Dottorato di ricerca Architettura: innovazione e patrimonio. Si occupa di rilevamento architettonico, archeologico e urbano, di storia dei metodi della rappresentazione e del disegno e della modellazione digitale come strumenti di conoscenza e di valorizzazione del patrimonio culturale.

Mauro Saccone
Dottore di ricerca in Architettura. Si occupa di rilievo 3D, digitalizzazione e sistemi informativi per i beni culturali. Insegna e collabora con il Dipartimento di Architettura dell'università Roma Tre e con il CNRS di Marsiglia in progetti su modellazione 3D, GIS, fotogrammetria e ontologie. Nel progetto D-TECH ha lavorato su strumenti web-based per la gestione dei dati culturali e sul digital twin come ambiente critico di conoscenza.

Carla Masetti
Professore ordinario di Geografia presso il Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università Roma Tre, dal 2013 al 2025 è stata Presidente del Centro Italiano per gli studi storico-geografici (CISGE), uno dei sei sodalizi geografici nazionali. La sua esperienza di ricerca e di didattica verte sulle tematiche della digitalizzazione dei documenti d'archivio, della cartografia e geografia storica, della storia della cartografia e sui metodi e tecniche di indagine informatica e telematica applicate alle scienze geografiche.

Laura Moro
Architetto e dottore di ricerca in Conservazione dei beni architettonici, è nei ruoli del Ministero della cultura dal 2000, dove ha ricoperto fin dal 2009 numerosi incarichi dirigenziali occupandosi di tutela del patrimonio culturale, processi di digitalizzazione e politiche pubbliche della conoscenza. Tra il 2020 e il 2023 ha coordinato il Piano nazionale di digitalizzazione del patrimonio culturale e l'avvio dell'Ecosistema digitale della cultura nell'ambito degli investimenti del Piano nazionale di ripresa e resilienza. Nel luglio 2026 ha pubblicato per Carocci editore il volume *"Patrimonio culturale digitale. Teorie e prospettive"*.

Elena Pelosi
Esperta di politiche culturali della Scuola nazionale del patrimonio e delle attività culturali, è referente di progetti di formazione e ricerca su temi legati alle professioni, all'accessibilità e alla partecipazione alla cultura. Laureata in Storia dell'arte e specializzata in Storia della progettazione architettonica e Restauro dei Monumenti Architettonici, è stata responsabile dell'ufficio formazione del MAXXI e coordinatore del MAXXI l'Aquila. Precedentemente come esperta senior per il progetto "Sensi contemporanei" ha seguito l'attuazione di progetti culturali mirati all'accrescimento delle competenze delle amministrazioni del Sud Italia.

Valentina Rossetti
Data specialist nel patrimonio culturale digitale, con competenze nella modellazione semantica, gestione dei dati, intelligenza artificiale applicata alle fonti documentali, visualizzazione e riuso dei dati culturali. Ha maturato una lunga esperienza nella digitalizzazione 3D del patrimonio, dall'acquisizione alla gestione del ciclo di vita del dato, attraverso collaborazioni con istituzioni di ricerca italiane ed europee. Collabora con l'Istituto Centrale per la Digitalizzazione del Patrimonio Culturale – Digital Library del MiC, contribuendo all'attuazione dell'investimento PNRR M1C3 1.1 e a progetti Horizon Europe, con particolare attenzione alla gestione strutturata dei dati culturali. È dottoranda del programma CHeDE dell'Università di Bologna.

Giovanni Pescarmona
Professionista esperto nel campo del patrimonio culturale digitale, con competenze che spaziano dalla digitalizzazione dei beni culturali alla gestione di progetti europei di ricerca e innovazione, con un particolare focus sul 3D. Collabora come Digital Humanist e Product Manager della piattaforma D.PaC per la Digital Library, nell'ambito della Direzione Generale Digitalizzazione e Comunicazione del MiC. Ricopre inoltre il ruolo di Data Liaison Officer per E-RIHS. Ha conseguito un PhD in Digital Art History e si occupa del coordinamento e dello sviluppo di progetti di digitalizzazione e Work Packages in iniziative europee quali GRAPHIA ed ECHOES.

Lidia Fiorini
Architetto, svolge attività di ricerca nell'ambito della documentazione del patrimonio costruito. Da oltre quindici anni collabora con il Laboratorio di Geomatica per l'Ambiente e la Conservazione dei Beni Culturali dell'Università di Firenze, partecipando a progetti nazionali e internazionali dedicati alla digitalizzazione tridimensionale del patrimonio culturale. La sua ricerca è focalizzata sulla documentazione come strumento di conoscenza e sugli strumenti necessari a garantirne la conservazione, la trasmissione, la condivisione e l'implementazione nel tempo. È membro ICOMOS.

Valeria Carioti
Laureata in ingegneria civile e dal 2024 lavora presso 3D Research Srl nel settore promozione digitale, coordinando la fase operativa di DIGI-CULT CAMP e curandone l'organizzazione delle attività e i rapporti con gli stakeholder.

Fabrizio Fuoco
Dottore magistrale in ingegneria meccanica, dal 2020 lavora in 3D Research Srl ed attualmente gestisce progetti culturali ed è responsabile del reparto digitalizzazione 2D e 3D.

Marco Canciani
Marco Canciani Professore ordinario di Disegno presso il Dipartimento di Architettura dell'Università Roma Tre e coordinatore del Laboratorio di Rilievo e Tecnologie Digitali (RilTec). La sua attività scientifica è incentrata sullo studio dei fondamenti teorici e metodologici della rappresentazione, sull'analisi delle relazioni tra disegno, geometria e costruzione dell'architettura e sullo sviluppo di procedure integrate per il rilevamento e la modellazione tridimensionale. I suoi interessi di ricerca comprendono inoltre i Sistemi Informativi Geografici, l'anastilosi e la ricostruzione virtuale, applicati alla conoscenza, alla documentazione, all'interpretazione e alla valorizzazione del patrimonio architettonico, archeologico e urbano.

Bruno Fanini
Ricercatore presso il CNR ISPC (Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale) ed è membro del Digital Heritage Innovation Lab (DHiLab). Le sue attività di ricerca e sviluppo sono focalizzate su 3D interattivo, visualizzazione immersiva/XR, interazione naturale e progettazione di interfacce spaziali. Guida la progettazione e lo sviluppo di alcuni strumenti aperti e servizi Web3D/WebXR, come il framework ATON.

Federica Maietti
Professore Associato (CEAR-10/A) presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara. È membro del Consiglio Direttivo del Centro Dipartimentale DIAPReM, ed è socia fondatrice dello Spin off "Inception", nato dal progetto europeo "Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modeling". La sua ricerca si concentra sul rilievo 3D e la rappresentazione del patrimonio attraverso tecnologie digitali.

Ascanio D'Andrea
Archeologo specializzato in data management, documentazione digitale e impact assessment per il patrimonio culturale, con particolare riferimento ai siti del Patrimonio Mondiale UNESCO. È Information Manager per il Packard Humanities Institute presso il Parco Archeologico di Ercolano, dove coordina lo sviluppo di sistemi GIS, rilievi 2D e 3D, documentazione tramite

drone e infrastrutture digitali per la conservazione, la gestione e la ricerca. Da oltre venticinque anni partecipa a progetti nazionali e internazionali. È coautore di valutazioni d'impatto per siti del Patrimonio Mondiale in Italia, Emirati Arabi Uniti, Norvegia, Sri Lanka e Macedonia del Nord, e ha collaborato con ICCROM, ARC-WH, Getty Conservation Institute, MOSAIKON e UNESCO.

Simone Marino
Specialista in Archeologia classica e dottore di ricerca in Metodologia della ricerca archeologica. Ha coordinato attività di scavo nei siti di Paestum e Sibari per il Dipartimento di Archeologia dell'Università di Salerno e per la Scuola Archeologica Italiana di Atene. Funzionario archeologo del Ministero della Cultura, ha prestato servizio presso la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio, seguendo le attività di tutela nelle province di Catanzaro, Cosenza e Crotone. Attualmente, presso il Parco Archeologico di Ercolano, si occupa di progetti strategici di digitalizzazione del patrimonio archeologico e di interventi complessi di manutenzione e restauro degli edifici di età romana dell'Area archeologica.

Riccardo Montalbano
Archeologo specializzato in Topografia antica e nella progettazione e gestione di sistemi informativi geografici per i beni culturali. È ricercatore in Topografia antica presso l'Università Telematica Internazionale Uninettuno.
È stato archeologo della Segreteria tecnica del Parco Archeologico di Ercolano, con il ruolo di GIS expert e data manager nel progetto Ercolano Digitale. Ha contribuito alla progettazione della piattaforma open data SITAR – Sistema Informativo Territoriale Archeologico di Roma – e al progetto MAGOH dell'Università di Pisa. Ha inoltre partecipato a progetti internazionali in Arabia Saudita e Turchia, dedicati alla gestione dei dati archeologici, alla documentazione digitale e ai GIS per la ricerca e la tutela.

Marialuisa Mongelli
Laurea in Ing. Chimica, PhD in metallurgia, Primo Ricercatore, esperta in modellazione numerica applicata ai Beni Culturali, responsabile della Sezione Transizione Digitale di ENEA. Collabora alla progettazione e allo sviluppo di iniziative complesse in materia di digitalizzazione, attraverso l'analisi e la reingegnerizzazione dei processi, mediante l'adozione di tecnologie ICT innovative a supporto della transizione digitale.

Margherita Porena
Dottoranda in Filosofia presso l'Università di Bologna - Alma Mater Studiorum e Digital Humanist presso l'Istituto Centrale per la Digitalizzazione del Patrimonio Culturale - Digital Library, dove ricopre il ruolo di Product Manager nell'area di intelligenza artificiale applicata ai dati descrittivi e alle risorse digitali del patrimonio culturale.La sua attività si concentra sulla ge-

stione, modellazione semantica e organizzazione dei dati relativi ai beni culturali, con particolare attenzione all'applicazione dell'intelligenza artificiale per migliorare la rappresentazione e fruizione delle informazioni. Partecipa attivamente allo sviluppo di strumenti innovativi per il settore culturale, contribuendo alla definizione e verifica dei processi di gestione dei dati.

Francesca Vessia
Professoressa Ordinaria di diritto Commerciale nell'Università di Bari Aldo Moro insegna diritto Commerciale e diritto Industriale, è avvocato, componente dell'Arbitro Bancario e Finanziario, Presidente della Commissione Proprietà Intellettuale UniBa. Svolge attività di ricerca nell'ambito del diritto dell'impresa e delle società, della concorrenza, della proprietà intellettuale e della crisi d'impresa. Partecipa a progetti di ricerca nazionali e internazionali, è autrice di due monografie, un manuale, quattro curatele, e oltre 60 articoli su riviste e opere collettive.

Nicolò Dell'Unto
Professore di Archeologia digitale presso il *Department of Archaeology and Ancient History* dell'Università di Lund, dove dirige il *Digital Archaeology Laboratory* (DARKLab). La sua ricerca è dedicata all'impiego di metodi e tecnologie digitali per la documentazione, l'analisi e l'interpretazione del patrimonio archeologico, con particolare attenzione alla fotogrammetria, al laser scanning, ai GIS e alla visualizzazione 3D. Ha conseguito il dottorato presso IMT Lucca e ha svolto attività di ricerca in Italia, negli Stati Uniti e in Scandinavia.

Giacomo Landeschi
Professore Associato di Archeologia presso l'Università di Lund, (Humanities Lab), è membro fondatore del *Lund University Digital Archaeology Laboratory* (DARKLab) e ricercatore presso il D*epartment of Archaeology and Ancient History.* Le sue attività di ricerca includono, tra le altre, lo studio dello spazio domestico della casa pompeiana attraverso metodi computazionali integrati e l'analisi dei paesaggi archeologici utilizzando tecniche avanzate di *AI-assisted remote sensing* e prospezione non-invasiva.

Carlo Birrozzi
Direttore dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD) del MiC. Architetto, ha lavorato presso la Soprintendenza per i beni architettonici e il paesaggio di Milano, la Direzione Generale per l'architettura e l'arte contemporanee e l'Istituto Centrale per il Restauro. È stato Soprintendente in Molise, Marche e Bari e Direttore ad interim dell'ICBSA. Ha curato e co-curato mostre tra cui: "Camere con vista. San Benedetto/Pesaro andata e ritorno"; "Italia in-attesa 12 racconti fotografici" a Palazzo Barberini; "Facciamo presto! Marche 2016-2017. Tesori salvati, tesori da salvare" alla Galleria degli Uffizi, "Terre in movimento" ospitata ad Ancona e al MAXXI. È autore di diverse pubblicazioni.

25 | collana
Patrimonio culturale e territorio

Il volume raccoglie gli interventi presentati nella Giornata di *Studi Digital Twin per il patrimonio. Stato dell'arte e prospettive future della digitalizzazione dei beni culturali*, del 5 dicembre 2024, organizzata in occasione della conclusione del Progetto di ricerca D-Tech Digital Twin Environment for Cultural Heritage, finanziato dal DTC Lazio nel 2022.

I lavori dell'incontro sono stati organizzati in forma di dialogo, strutturato su più livelli: da un lato, con le istituzioni che a scala nazionale governano e monitorano il processo di digitalizzazione 3D del patrimonio culturale; dall'altro, con centri di ricerca e università – italiani e internazionali – attivi nell'uso e nella condivisione dei dati 3D attraverso piattaforme web; un ulteriore spazio è stato dedicato al tema della semantica e dei LOD (Linked Open Data), nonché a un approfondimento inerente all'analisi delle complesse problematiche giuridiche nell'uso dei modelli 3D.

Un confronto su questioni che, nell'era digitale, non solo incidono direttamente sulle pratiche operative, ma stanno trasformando anche i paradigmi culturali alla base delle modalità di gestione e tutela del patrimonio. Ciò che resterà della documentazione prodotta nel nostro secolo non dipenderà soltanto dalla quantità di dati, né dalla precisione dei modelli o dalla potenza degli algoritmi utilizzati. Dipenderà soprattutto dalla capacità di rendere quei dati comprensibili, verificabili, riusabili e criticamente interpretabili, capaci di trasmettere la forma dei beni, ma anche le domande e le scelte attraverso cui essi sono stati conosciuti e rappresentati.

In definitiva, non basta chiedersi come e quanto digitalizziamo il patrimonio culturale: occorre interrogarsi sul tipo di memoria che, attraverso queste pratiche, stiamo costruendo.

Roma Tre