

Lettura multidimensionale per la tutela del patrimonio culturale e ambientale, stato dell'arte e sfide future

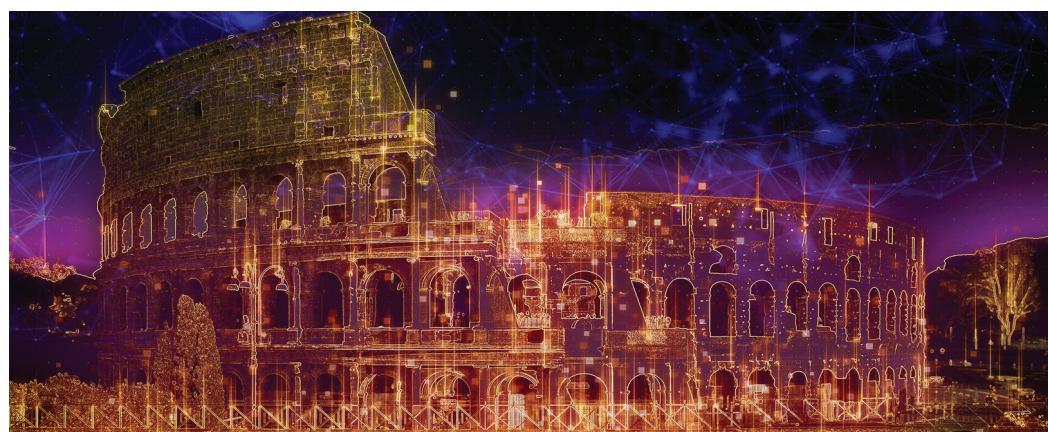
Dario Simula

Abstract

Il contributo analizza lo stato di fatto sulla tutela del patrimonio culturale, con particolare attenzione al tema delle memorie del passato, offrendo una chiave di lettura multidimensionale basata su tre livelli: Multi-media, Multi-temporalità, Multi-Scalarità. L'evoluzione delle tecnologie di rilievo (fotogrammetria e laser scanning) aprono le porte a nuove modalità di documentazione, fornendo dati tridimensionali ad alta precisione che rappresentano il punto di partenza per l'integrazione con diversi modelli di archiviazione digitale utili alla conservazione, restauro e valorizzazione. Gli approcci multidimensionali che integrano le diverse scale, fasi storiche e supporti essenziali per la comprensione delle relazioni spaziali e storiche dei beni possono essere supportati da H-GIS (*Historical Geographic Information Systems*) che permettono di spazializzare i dati temporali e geografici, mentre gli H-BIM (*Historical Building Information Modeling*) forniscono modelli parametrici dettagliati, utili per la documentazione dello stato del sito e delle opere di restauro. Pur riconoscendo che l'integrazione completa tra HGIS e HBIM rappresenti ancora una frontiera di ricerca aperta, l'analisi evidenzia l'importanza di un approccio sistematico che combina l'uso delle tecnologie di rilievo e dei modelli informativi, rendendo le memorie del passato una risorsa attuale e fruibile per la società contemporanea, consolidando il legame tra conservazione storica e innovazione tecnologica.

Parole chiave

Rilievo architettonico, patrimonio culturale, multidimensionalità, multiscalarità.



Intelligenza artificiale e reti neurali: i beni culturali (elaborazione digitale del Colosseo: <https://2020.biennaletecnologia.it/intelligenza-artificiale-e-reti-neurali-i-beni-culturali.html>).

Introduzione

La tutela del patrimonio culturale e ambientale nelle discipline del Disegno è un tema in costante crescita, la comunità scientifica discute sulle migliori tecniche di documentazione, tutela e valorizzazione del patrimonio costruito per poterne implementare la divulgazione e la fruizione. In particolare, in Italia, vi è una forte presenza di beni architettonici che testimoniano l'evoluzione nei secoli della nostra cultura, gli elementi di interesse di cui fanno parte opere artistiche, aree archeologiche, manufatti architettonici e luoghi di culto. Questi elementi sono tasselli di un mosaico che, in relazione all'ambiente nel quale si sono sviluppati, hanno dato vita a culture diverse e hanno costituito la storia evolutiva del paese. L'insieme variegato di questi beni deve essere necessariamente riconosciuto, tutelato e valorizzato, lo studio del patrimonio architettonico è fondamentale ma difficile, i metodi di tutela e fruizione sono certamente cambiati e migliorati all'avanzare della tecnologia che sta portando a una facilità sempre maggiore nell'ottenimento dei dati.

La tutela di un bene è una questione complessa, legata a molteplici fattori, la dimensione storica di un bene non è univoca e deve essere considerata nella sua complessità, secondo Aurora Villalobos Gómez, è cruciale integrare diverse dimensioni del patrimonio culturale: come monumento (valore estetico), documento (valore scientifico), identità (valore simbolico) e risorsa (valore economico). Questo approccio multidimensionale consente di rendere più evidente il riconoscimento culturale di un bene, poiché valorizza la convergenza di molteplici prospettive [Villalobos Gómez 2020].

La complessità di un bene è data da notevoli fattori come la stratificazione storica e l'interazione col contesto ambientale e territoriale, l'evoluzione tecnologica ci permette di ottenere dati sempre più accurati e di utilizzare tecniche sempre più precise per poter operare in materia di tutela; pertanto, una possibile chiave di lettura multidimensionale del patrimonio culturale può essere effettuata su tre livelli: Multi-media; Multi-temporale; Multi-scalare.

Multi-media

Il primo livello, definibile come Multi-media, comprende una serie di dati provenienti da diverse indagini. Queste includono la consultazione di archivi storici e bibliografia contemporanea, oltre alla ricostruzione delle fasi costruttive e dell'evoluzione temporale del bene, si integra l'informazione ottenuta attraverso diverse fonti, come i rilievi architettonici, le analisi documentali e le fotografie, realizzando un quadro completo.

Una delle prime attività nell'ambito della tutela è l'analisi grafica, che consente di approfondire lo stato di conservazione e di fungere da base per lo sviluppo di ipotesi di restauro o valorizzazione. In ambito architettonico è un mezzo di conoscenza non sostituibile, l'attività di rilievo mira a studiare e conoscere il manufatto e fornisce elementi indispensabili per la documentazione del patrimonio architettonico [Tolla, Bixio 2012]. Secondo [Furfaro et al. 2022] la documentazione del sito e il rilievo, sono tra le prime operazioni fondamentali da effettuare per avviare il processo conoscitivo del sito, per poter operare in materia di gestione e conservazione (fig. 1), col passare del tempo, le discipline di rilevamento hanno affinato le tecniche di misura adattandole alle potenzialità offerte dalla tecnologia [Bitelli 2002].

Questo livello interpretativo include la fase di integrazione dei diversi media attraverso l'utilizzo di software per la realizzazione di database informativi, la modellazione dei dati per la restituzione grafica e l'implementazione di tecniche per la fruizione. L'evoluzione di sistemi di gestione dei dati avanzata, dei modelli parametrici e le tecniche di rappresentazione tridimensionali sono possibili grazie all'evoluzione degli strumenti tecnologici che è avvenuta negli ultimi anni.

Multi-temporalità

Parallelamente all'acquisizione dei dati per l'analisi grafica è fondamentale ricostruire la multi-temporalità attraverso la ricostruzione delle fasi storiche del bene e del contesto oggetto di tutela, analizzando i processi evolutivi che hanno portato alla configurazione attuale, que-

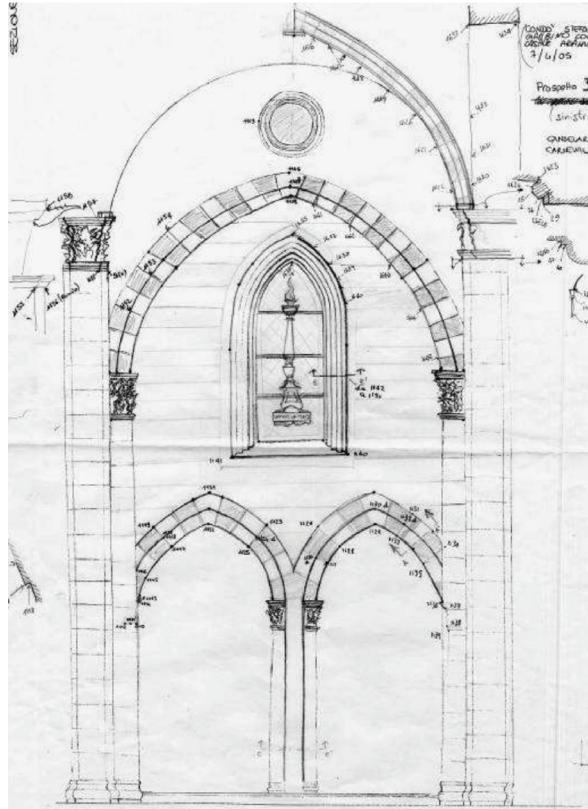


Fig. 1. Analisi grafica, Eidotipo per il rilievo della sezione longitudinale, Casale Monferrato (disegno e rilievo di S. Condò, L. Gambino, A. Casale, Candelari, Carnevale).

sto processo si basa su un'accurata ricerca di documentazione storico-archivistica [Maiezza 2019]. In passato la gestione dei dati per la tutela del patrimonio culturale si basava su metodi manuali di mappatura, documentazione fotografica e schizzi, negli ultimi anni sta avvenendo una sempre maggiore integrazione di analisi geospaziali attraverso l'utilizzo di software GIS anche in merito alla tutela del patrimonio culturale e ambientale, attraverso i sistemi *Heritage* o *Historical GIS* (H-GIS) (fig. 2), che permettono di accompagnare l'analisi storica e ricostruire scenari passati spazializzando le cartografie storiche secondo i moderni sistemi di riferimento con l'integrazione di dati spaziali e temporali, consentendo una comprensione più approfondita delle relazioni storiche e geografiche.

In ambito strettamente architettonico i sistemi BIM, invece, nati per la progettazione ex-novo hanno trovato un utilizzo più ampio, introducendo la modellazione di strutture storiche e prendendo il nome di *Heritage* o *Historical BIM* (H-BIM), cioè modelli parametrici che introducono la modellazione di strutture storiche per rispondere alle specifiche esigenze di conservazione e salvaguardia del patrimonio [Zachos, Anagnostopoulos 2023]. Il *Building Information Modeling* (BIM) permette di effettuare un processo avanzato di gestione e controllo dei beni architettonici, realizzando modelli digitali interattivi e interrogabili che migliorano l'accuratezza dell'analisi e del controllo rispetto ai metodi tradizionali [Empler, Caldarone, Fusinetti 2020].

L'introduzione di tecnologie come gli H-GIS (*Historical Geographic Information Systems*) e gli HBIM (*Historical Building Information Modeling*) rappresentano un ulteriore passo avanti nell'approccio multidimensionale alla tutela del patrimonio culturale e il passo successivo è quello di integrare le due tecnologie per fornire strumenti più complessi di gestione del territorio e del patrimonio culturale, fornendo uno strumento che tenga conto di una visione multiscalare e multitemporale integrata, essenziale per garantire una tutela efficace del patrimonio culturale. La ricerca storica, integrata con tecnologie avanzate di rilievo utili a fornire basi che dialoghino con HGIS e HBIM consente di indagare nuovi modi per preservare il valore intrinseco dei beni e consentendo di ottenere una visione oltre che multitemporale, multiscalare ed integrare elementi multimediali interrogabili.



Fig. 2. *Historical GIS*, sovrapposizione di strati informativi contemporanei e cartografia storica, da [Lelo, Baiochi 2007, p. 25].

Multi-Scalarità

La terza dimensione nel percorso di tutela del patrimonio riguarda pertanto il concetto di multi-scalarità, un tema ricorrente e sempre più attuale nella pianificazione urbanistica e territoriale e applicabile sia alla fase conoscitiva, sia a quella operativa in tema di tutela del patrimonio culturale, l'integrazione dei processi tra le diverse scale è una caratteristica cruciale e un problema nella comprensione dei sistemi complessi [Raimbault 2021].

È fondamentale nell'analisi del patrimonio culturale considerare l'insieme di relazioni che lo compongono, la dimensione spaziale e la materialità, le fasi diverse fasi costruttive e il relativo stato di conservazione attraverso una strutturazione sistematica. La multiscalarità e la multidimensionalità sono concetti molto importanti nella gestione dei modelli informativi che descrivono gli edifici storici [Spallone, Piano, Piano 2016]. Il concetto di multiscalarità nel processo di tutela dei beni culturali può includere la dimensione paesaggistica che non si limita a essere un semplice sfondo in cui si colloca il bene culturale nelle fasi rappresentative ma rappresenta un sistema dinamico e complesso interrogabile, utile a capire le relazioni col bene stesso.

Gli strumenti GIS sono potenti strumenti con i quali è possibile inserire gli elementi architettonici e georeferenziarli, gestiti contemporaneamente e attribuire degli attributi, inoltre è possibile inserire le informazioni territoriali, e analizzare le relazioni tra gli elementi naturali e antropici fornendo un modello stratificato del territorio, in questa prospettiva, l'analisi multi-scalare attraverso questi sistemi consente di cogliere le relazioni tra il bene e il suo contesto su diverse scale spaziali e temporali, supportando strategie di tutela, valorizzazione e gestione sostenibile del patrimonio culturale (fig. 3).

Nonostante la crescente diffusione dei software di modellizzazione tridimensionale e l'utilizzo dei sistemi GIS per la ricostruzione storica in materia di tutela del patrimonio culturale, l'ambiente GIS presenta ancora limiti nell'organizzazione, gestione e interrogazione efficace degli elementi architettonici rilevati direttamente sul campo e con i sistemi BIM, in particolare, la sfida principale riguarda la corretta rappresentazione ad un livello di dettaglio accurato e georeferenziazione tridimensionale delle strutture, mantenendo la loro posizione spaziale accurata e integrando i dati in modo funzionale per analisi avanzate [Baratin et al. 2014].



Fig. 3. *HistoricalL GIS*, esempio di georeferenziazione cartografia storica e ortofoto, da [Malaperdas, Grethe, Zacharias 2023, p. 4].

Pertanto, è necessario operare verso la realizzazione di un sistema di ricostruzione digitale dei diversi livelli spaziali e temporali, partendo da una scala territoriale più ampia, analizzando le condizioni ambientali e le relazioni con altre testimonianze simili, fino a una scala più dettagliata, in cui è possibile generare modelli parametrici informativi.

Acquisizione dei dati e restituzione grafica

La fase operativa per poter operare con questi sistemi sofisticati consiste in una campagna di rilievo utile per l'acquisizione dei dati e per poter effettuarne restituzione grafica, come osserva Mario Docci "il rilevamento architettonico è un processo di conoscenza volto alla ricostruzione del progetto dello stato attuale dell'opera rilevata, di conseguenza il 'rilievo' di un'opera architettonica, altro non è che la ricostruzione del suo progetto" [Docci 2004, p. 23]. La raccolta dei dati per l'analisi grafica rappresenta il punto di partenza per qualsiasi studio sull'architettura esistente, utile a fornire le basi per successive fasi di analisi, progettazione e conservazione. Nel tempo vi è stata una forte evoluzione, le prime metodologie erano basate su tecniche di tipo diretto con misurazioni effettuate manualmente sul manufatto attraverso l'utilizzo di strumenti come la rotella metrica, il filo a piombo, la livella, o distanzimetri, allineatori e livelli laser [Paris 2011]. L'avanzamento tecnologico degli ultimi decenni ha permesso la nascita e l'implementazione sempre maggiore dei metodi indiretti o strumentali, che hanno permesso l'acquisizione di dati sempre più precisi e aperto le porte verso nuovi scenari, tra i metodi più diffusi vi è quello di tipo fotogrammetrico.

Le tecniche di fotogrammetria consentono di ottenere i dati degli oggetti rilevati riguardanti le dimensioni, la posizione, la forma, il colore, attraverso le informazioni derivanti da fotografie ottenute in diverse posizioni [Cannarozzo, Cucchiari, Meschieri 2012]. Con l'evoluzione delle macchine fotografiche digitali ad alta risoluzione che sta portando a dati sempre più precisi e accurati e l'incremento della capacità computazionale dei moderni computer e software è possibile ottenere ricostruzioni sempre più precise e veloci [Pritchard 2023]. La fotogrammetria terrestre presenta dei limiti, dati dal tempo e dalla difficoltà di raggiungimento di tutte le parti in strutture complesse; pertanto, è spesso affiancata e integrata alla fotogrammetria aerea attraverso l'utilizzo di Aeromobili a Pilotaggio Remoto (APR), i quali con una pianificazione dei

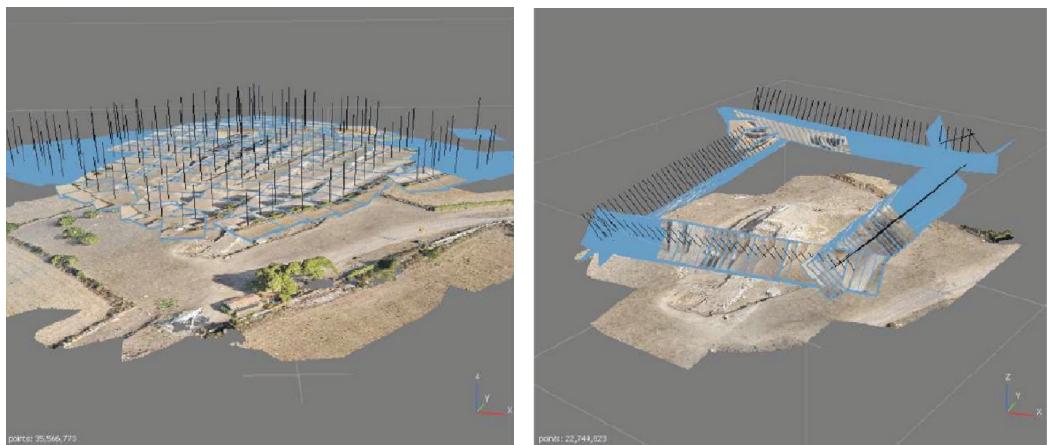


Fig. 4. Pianificazione dei voli in differenti altezze e inclinazioni delle camere, da [Valentino, Ciccalò, Sias, 2023, p. 336].

voli in differenti altezze ed inclinazioni delle camere (fig. 4), permettono di ottenere una serie di dati georeferenziati altrimenti difficilmente ottenibili dal rilievo terrestre.

I dati ottenuti da un rilievo diretto necessitavano del ridisegno manuale del manufatto mentre i dati ottenuti dal rilievo fotogrammetrico necessitano di passaggi nettamente più veloci, attraverso l'utilizzo di software *Structure from Motion* (SfM) è possibile elaborare i dati fotogrammetrici e generare output bidimensionali come il fotopiano di un edificio o il mosaico delle ortofoto per una porzione di territorio ma anche dati tridimensionali a partire da immagini bidimensionali, producendo la nuvola di punti dell'oggetto, cioè un insieme di dati di coordinate spaziali note che includono informazioni aggiuntive come i dati cromatici (fig. 5) [Ebrahim 2015].

Negli ultimi anni, una ulteriore evoluzione tecnica è rappresentata dal *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), strumento attraverso l'emissione di impulsi di luce e la misurazione del tempo impiegato per riflettersi sulla superficie dell'oggetto e tornare al sensore può determinarne la distanza e attraverso specifici calcoli e generare direttamente una nuvola di punti per rappresentare digitalmente l'oggetto o l'area rilevata. Questa tecnologia è ampiamente utilizzata per il rilievo di grandi aree e complessi architettonici [Ebrahim 2015].

Le ricerche si stanno indirizzando a tecniche di integrazione tra tecniche laser e fotogrammetria digitale per realizzare rappresentazioni 3D di alta qualità, con i sensori a distanza che forniscono dense nuvole di punti e la fotogrammetria che produce modelli con texture ad alta risoluzione, i lavori più avanzati utilizzano le immagini per migliorare le nuvole di punti o aggiungere dettagli mancanti [Guarnieri, Remondino, Vettore 2006].

L'acquisizione dei dati e l'ottenimento delle nuvole di punti permettono di utilizzare i dati per operazioni di diverso genere, come quelle per realizzare dei *BIM-as-built*, cioè dei modelli parametrici del patrimonio costruito (fig. 6), questa operazione prende il nome di *Scan-*



Fig. 5. Nuvola di punti, da Parrinello et al. 2024, p. 541.

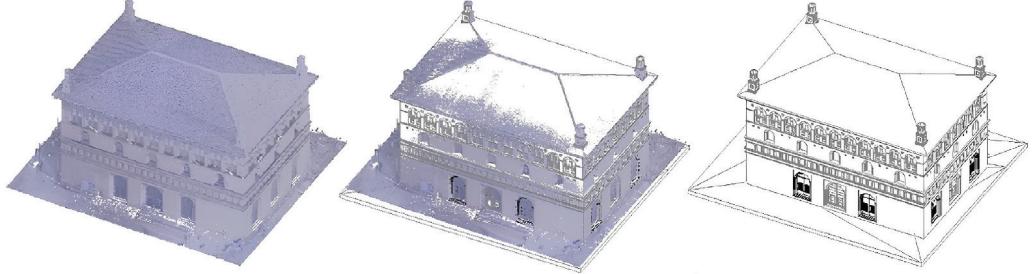


Fig. 6. Processo Scan-to-BIM, da [Hernández, Ferreyra, Messina 2023, p. 712].

to-BIM [Son, Kim, Turkan 2015]. L'integrazione dei dati del rilievo può essere utilizzata per l'implemento anche dei database GIS attraverso l'integrazione di dati geometrici o puntuali georiferiti e l'integrazione di schede informative dettagliate o foto all'interno database, la nuvola di punti permette inoltre l'esporazione di modelli digitali di elevazione prodotti dai rilievi aerei [Putzolu, Vicenzutto 2013].

Il forte sviluppo tecnologico degli ultimi anni ha permesso di ottenere dati sempre più accurati e dettagliati e di ottenerli in tempi più brevi attraverso una evoluzione degli strumenti e una integrazione tra loro, l'obiettivo è quello di integrare i vari dati eterogenei derivanti dalle varie fasi di ricerca sul bene: analisi documentale e cartografica, fonti fotografiche storiche, dati dei rilievi e del contesto ambientale e renderli fruibili in ottica di tutela del patrimonio culturale, fornendo le basi nuovi per strumenti di archiviazione dei dati e strumenti di fruizione dei beni da parte della popolazione.

L'analisi non può quindi limitarsi alla semplice documentazione dello stato di fatto del bene, ma richiede un approccio più articolato. Per garantire interventi efficaci, è indispensabile registrare l'aspetto originale degli edifici storici attraverso modelli tridimensionali a nuvola di punti, che forniscono dati fondamentali sull'architettura tradizionale, utili per la riparazione, la manutenzione e la conservazione [Liu, Mamat 2024].

La fase di rilievo, dunque, rappresenta la base fondamentale per l'attivazione di strumenti di gestione e analisi più complessi, capaci di integrare dimensioni diverse, come quelle ambientali, storiche e documentali.

Conclusioni e prospettive future

Un approccio multidimensionale permette di affrontare il tema della tutela del patrimonio culturale da diversi punti di vista fornendo nuovi strumenti interpretativi e di fruizione, il progresso delle tecnologie di rilievo attraverso la fotogrammetria e il laser scanner hanno permesso notevoli passi avanti in materia di tutela del patrimonio culturale, fornendo strumenti utili alla ricostruzione digitale dei beni e fornendo strumenti utili a indagare il processo storico e le relazioni di questi elementi. Tra questi, gli H-GIS e gli H-BIM stanno emergendo come soluzioni fondamentali: i primi integrano dati storici e geografici per un'analisi multiscalare e multitemporale, mentre i secondi permettono una modellazione dettagliata delle strutture storiche, includendo informazioni fisiche e materiali, il tema dell'integrazione in modelli integrati tra H-BIM e H-GIS è attualmente dibattuto ed in fase di sviluppo, tuttavia l'integrazione effettiva dei due flussi di lavoro in un unico sistema informativo rappresenta ancora un campo di ricerca aperto, specialmente nel contesto del Patrimonio Culturale [Bruno et al. 2020].

Le prospettive future mirano tramite un uso sapiente degli strumenti digitali innovativi alla realizzazione di un approccio strutturato di analisi, documentazione del patrimonio culturale con una chiave di lettura multidimensionale utile alla realizzazione di tecniche di fruizione sempre maggiori, per fare questo è utile lavorare sull'integrazione e comunicazione delle tecnologie H-GIS e H-BIM.

Riferimenti bibliografici

- Baratin, L., Bertozzi, S., Moretti, E. (2014). Tecnologia GIS per la manutenzione programmata dei beni culturali. In *La conservazione preventiva e programmata*. PPC Conference 2014, pp. 1-9.
- Bitelli, G. (2002). Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali. In *Atti VI Conferenza Nazionale ASITA*, vol. I, pp. IX-XXIV.
- Bruno, N., Rechichi, B., Achille, C., Zerbia, A., Roncella, R., Fassi, F. (2020). Integration of Historical GIS Data in a HBIM System. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII-B4-2020, pp. 427-434.
- Cannarozzo, A., Cucchiari, A., Meschieri, G. (2012). *Fotogrammetria*. Bologna: Zanichelli.
- Docci, M. (2004). *Metodi e tecniche integrate di rilevamento per la realizzazione di modelli virtuali dell'architettura della città*. Roma: Gangemi.
- Ebrahim, M.A.-B. (2015). 3D Laser Scanners Techniques Overview. In *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(10), pp. 1-10.
- Empler, T., Caldarone, A., Fusinetti, A. (a cura di). (2020). *3D Modeling & BIM: Data Modeling & Management for AECO Industry*. Roma: DEI.
- Furfaro, G., Tanduo, B., Fiorini, G., Guerra, F. (2022). La fotogrammetria sferica per il rilievo del patrimonio storico-culturale: la necropoli di Anghelu Ruju. In *ASITA 2022*, pp. 261-272.
- Guarnieri, A., Remondino, F., Vettore, A. (2006). Digital photogrammetry and TLS data fusion applied to cultural heritage 3D modeling. In *IISPRS Commission V Symposium, Image Engineering and Vision Metrology*. https://www.isprs.org/proceedings/xxvii/part5/paper/1216_dresden06.pdf.
- Hernández, L. A., Ferreyra, C., Messina, B. (2023). Processo di digitalizzazione in HBIM per la gestione ampliata del patrimonio culturale. La Lonja de Zaragoza. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*. Milano: FrancoAngeli, pp. 707-726. <https://doi.org/10.3280/oa-1016-c319>.
- Lelo, K., Baiocchi, V. (2007). Georeferencing of historical cartography in a GIS environment and its verification by surveying. In *Atti XI Conferenza Nazionale ASITA*, pp. 1715-1720.
- Liu, S., Mamat, M. J. B. (2024). Application of 3D laser scanning technology for mapping and accuracy assessment of the point cloud model for the Great Achievement Palace heritage building. In *Heritage Science*, 12 (153). <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01252-y>.
- Maiezza, P. (2019). *Ricostruendo in digitale: Metodi e modelli per i beni architettonici*. Alghero: Publca
- Malaperdas, G., Grethe, R., Zacharias, N. (2023). Depicting the past: The value of old maps and topographic diagrams in cultural heritage through GIS. In *Journal of Archaeological Science: Reports*, 52, 104276. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.104276>.
- Paris, L. (2011). Il rilievo del modello. In L. M. Papa (a cura di). *Il Disegno delle Trasformazioni. Atti del Convegno*, Napoli, 1-2 dicembre 2011. Napoli: Università degli Studi di Napoli Federico II, pp. 371-378.
- Parrinello, S., Bigongiari, M., Dell'Amico, A., Dellabartola, G., Pettineo, A. (2024). Il disegno delle isole "minori" dell'arcipelago veneziano. In F. Bergamo, A. Calandriello, M. Ciammaichella, I. Friso, F. Gay, G. Liva, C. Monteleone (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, Padova-Venezia, 12-14 settembre 2024. Milano: FrancoAngeli, pp. 541-560.
- Pritchard, D. (2023). Intersezioni tra tecnologia, comunicazione grafica e rappresentazione del patrimonio culturale. In *Disegnare. Idee, immagini*, 34(66), pp. 48-63.
- Putzolu, C., Vicenzutto, D. (2013). Il rilievo delle superfici tramite fotogrammetria 3D: Dal microscavo dei complessi tombali agli scavi in open area. In *Archeologia e Calcolatori*, 24, pp. 355-370.
- Raimbault, J. (2021). Strong coupling between scales in a multi-scalar model of urban dynamics. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.12725>.
- Son, H., Kim, C., Turkan, Y. (2015). Scan-to-BIM – An overview of the current state of the art and a look ahead. In *Proceedings 32nd ISARC*, pp. 1-8.
- Spallone, R., Piano, S., Piano, A. (2016). B.I.M. e beni architettonici: analisi e rappresentazione multiscalar e multidimensionale di un insediamento storico. Il caso studio di Montemagno, Borgo Nuovo piemontese. In *DisegnareCon*, 9, 16, pp. 13.1-13.13.
- Tolla, E., Bixio, A. (a cura di). (2012). *Un laboratorio per il rilievo*. Santa Rufina di Cittaducale: Edizioni CUES.
- Valentino, M., Ciccalò, E., Sias, A. (2023). Digital modelling, immersive fruition and divulgation of Pre-nuragic altar of Monte d'Accoddi. In A. Giordano, M. Russo, R. Spallone (Eds.). *Beyond Digital Representation. Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction*. Cham: Springer, pp. 329-342. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36155-5_21.
- Villalobos Gómez, A. (2020). Principios para la tutela efectiva del patrimonio cultural. In *Revista PH Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 101, pp. 355-357.
- Zachos, A., Anagnostopoulos, C. N. (2023). Using terrestrial laser scanning, unmanned aerial vehicles and mixed reality methodologies for digital survey, 3D modelling and historical recreation of religious heritage monuments. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.01380>.

Autore

Dario Simula, Università degli Studi di Sassari, d.simula2@phd.uniss.it

Per citare questo capitolo: Dario Simula (2025). Lettura multidimensionale per la tutela del patrimonio culturale e ambientale, stato dell'arte e sfide future. In L. Carlevaris et al. (a cura di). *ékphrasis. Descrizioni nello spazio della rappresentazione/ékphrasis. Descriptions in the space of representation*. Atti del 46° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Milano: FrancoAngeli, pp. 1963-1978. DOI: 10.3280/oa-1430-c857.

Multidimensional Reading for Cultural and Environmental Heritage Protection, State of the Art and Future Challenges

Dario Simula

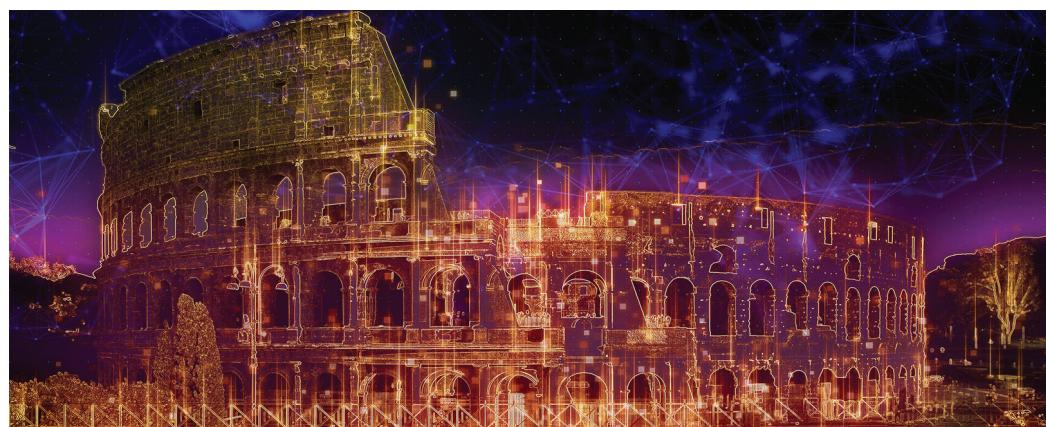
Abstract

The contribution analyses the state of affairs regarding the protection of cultural heritage, with a particular focus on memories of the past. It offers a multidimensional interpretation key based on three levels: Multi-media, Temporality, and Multi-Scale.

The evolution of survey technologies (photogrammetry and laser scanning) opens the door to new ways of documentation, providing high-precision three-dimensional data that represent the starting point for integrating different digital archiving models useful for conservation, restoration, and valorization.

Multidimensional approaches integrating different scales, historical phases, and media essential for understanding the spatial and historical relationships of heritage assets can be supported by H-GIS (Historical Geographic Information Systems), which allows the spatialization of temporal and geographical data, while H-BIM (Historical Building Information Modeling) provides detailed parametric models useful for documenting the state of the site and restoration works. While recognizing that the full integration of HGIS and HBIM still represents an open research frontier, the analysis highlights the importance of a systemic approach that combines the use of survey technologies and information models, making the memories of the past a current and usable resource for contemporary society, consolidating the link between historical preservation and technological innovation.

Key words: Architectural survey, cultural heritage, multidimensionality, multiscalarity.



Artificial intelligence and neural networks: cultural heritage (digital processing of the Colosseum: <https://2020.biennaletecnologia.it/intelligenza-artificiale-e-reti-neurali-i-beni-culturali.html>).

Introduction

The protection of cultural and environmental heritage in the disciplines of Drawing is a constantly growing topic, the scientific community discusses the best techniques for documenting, protecting, and enhancing the built heritage to implement its dissemination and enjoyment.

In Italy in particular, there is a strong presence of architectural heritage that bears witness to the evolution of our culture over the centuries, the elements of interest of which include artistic works, archaeological areas, architectural artefacts and places of worship. These elements are pieces of a mosaic that, about the environment in which they developed, gave rise to different cultures and constituted the evolutionary history of the country.

The diverse set of these assets must necessarily be recognised, protected and valorised, the study of architectural heritage is fundamental but difficult, the methods of protection and fruition have certainly changed and improved with the advancement of technology that is leading to ever greater ease in obtaining data.

The protection of an asset is a complex issue, linked to multiple factors, the historical dimension of an asset is not unique and must be considered in its complexity, according to Aurora Villalobos Gómez, it is crucial to integrate different dimensions of cultural heritage: as a monument (aesthetic value), document (scientific value), identity (symbolic value) and resource (economic value). This multidimensional approach makes the cultural recognition of an asset more evident, as it enhances the convergence of multiple perspectives [Villalobos Gómez 2020].

The complexity of an asset is given by considerable factors such as historical stratification and interaction with the environmental and territorial context; technological evolution allows us to obtain more and more accurate data and to use more and more precise techniques to be able to operate in the field of protection; therefore, a possible multidimensional reading key of the cultural heritage can be made on three levels: Multi-media; Multi-temporal; Multi-scalar.

Multi-media

The first level, which can be defined as Multi-media, comprises a series of data from different surveys. These include the consultation of historical archives and contemporary bibliography, as well as the reconstruction of the construction phases and the temporal evolution of the property, the information obtained through various sources, such as architectural surveys, documentary analysis and photographs, is integrated, producing a complete picture.

One of the first activities in the field of preservation is graphic analysis, which allows the state of preservation to be examined in depth and to serve as a basis for the development of restoration or valorization hypotheses. In the field of architecture, it is a means of knowledge that cannot be substituted, the survey activity aims to study and get to know the artifact and provides indispensable elements for the documentation of the architectural heritage [Tolla, Bixio 2012].

According to [Furfaro et al. 2022], site documentation and surveying are among the first fundamental operations to be carried out to initiate the cognitive process of the site, in order to be able to operate in the field of management and conservation (fig. 1), over time, surveying disciplines have refined measurement techniques adapting them to the potential offered by technology [Bitelli 2002].

This level of interpretation includes the integration phase of the different media through the use of software for building information databases, data modeling for graphical rendering, and the implementation of techniques for use.

The evolution of advanced data management systems, parametric models and three-dimensional representation techniques is possible thanks to the evolution of technological tools that has taken place in recent years.

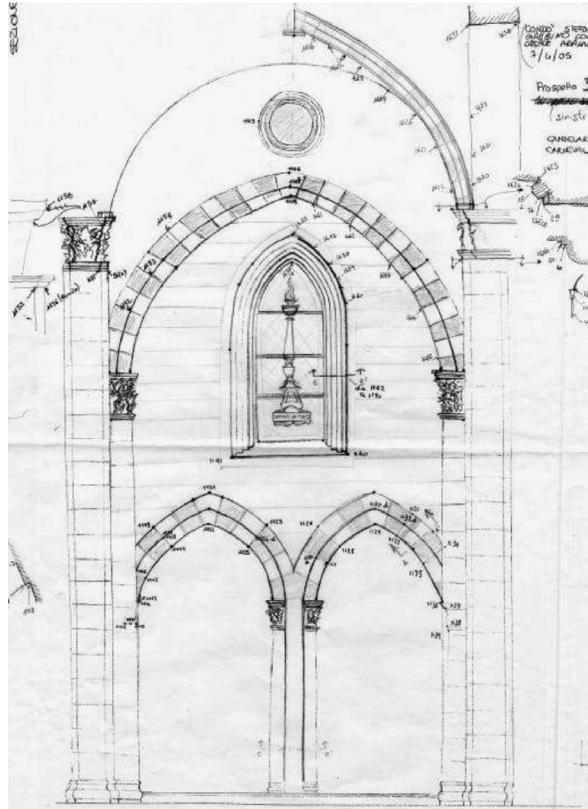


Fig. 1. Graphical analysis, Eidotype, survey of the longitudinal section of Casale Monferrato (sketch and survey by S. Condò, L. Gambino, A. Casale, Candelari, Carnevale).

Multi-temporality

Parallel to the acquisition of data for graphical analysis, it is fundamental to reconstruct multi-temporality through the reconstruction of the historical phases of the property and the context subject to protection, analyzing the evolutionary processes that led to the current configuration, this process is based on accurate research of historical-archival documentation [Maiezza 2019].

In the past, data management for the protection of cultural heritage was based on manual methods of mapping, photographic documentation, and sketches, in recent years an increasing integration of geospatial analysis through the use of GIS software is taking place also in the protection of cultural and environmental heritage, through Heritage or Historical GIS (H-GIS) systems (fig. 2), which make it possible to accompany historical analysis and reconstruct past scenarios by spatializing historical cartographies according to modern reference systems with the integration of spatial and temporal data, enabling a deeper understanding of historical and geographical relationships. In the strictly architectural sphere, BIM systems, on the other hand, born for ex-novo design have found a wider use, introducing the modeling of historical structures and taking the name of Heritage or Historical BIM (H-BIM), i.e. parametric models that introduce the modeling of historical structures to respond to specific heritage conservation and preservation needs [Zachos, Anagnostopoulos 2023]. Building Information Modeling (BIM) allows for an advanced process of management and control of architectural assets, producing interactive and interrogable digital models that improve the accuracy of analysis and control compared to traditional methods [Empler, Caldarone, Fusinetti 2020].

The introduction of technologies such as H-GIS (Historical Geographic Information Systems) and HBIM (Historical Building Information Modeling) represent a further step forward in the multidimensional approach to cultural heritage protection, and the next step is to integrate the two technologies to provide more complex land and cultural heritage



Fig. 2. Historical GIS, overlaying contemporary information layers and historical cartography from [Lelo, Baiocchi 2007, p. 25].

management tools, providing a tool that takes into account an integrated multi-scalar and multi-temporal view, which is essential to ensure effective cultural heritage protection. Historical research, integrated with advanced surveying technologies useful for providing bases that dialogue with HGIS and HBIM, allows us to investigate new ways of preserving the intrinsic value of assets and enabling a multi-temporal, multi-scalar view as well as integrating questionable multimedia elements.

Multi-scalarity

The third dimension in heritage protection therefore concerns the concept of multi-securitability, a recurring and increasingly topical theme in urban and territorial planning and applicable to both the cognitive and operational phases in heritage protection, the integration of processes between different scales is a crucial feature and problem in understanding complex systems [Raimbault 2021].

It is fundamental in the analysis of cultural heritage to consider the set of relationships that compose it, the spatial dimension and materiality, the different stages of construction, and the relative state of preservation through systematic structuring. Multiscalarity and multidimensionality are very important concepts in the management of information models describing historic buildings [Spallone, Piano, Piano 2016].

The concept of multiscalar in the process of cultural heritage protection can include the landscape dimension that is not limited to being a simple background in which the cultural asset is placed in the representative phases but represents a dynamic and complex system that can be interrogated, useful to understand the relationships with the asset itself.

GIS tools are powerful tools with which it is possible to insert architectural elements and georeference them, manage them at the same time, and attribute attributes, it is also possible to insert spatial information, and analyze the relationships between natural and anthropic elements providing a stratified model of the territory, in this perspective, the multiscalar analysis through these systems allows to grasp the relationships between the property and its context on different spatial and temporal scales, supporting strategies for the protection, valorization and sustainable management of cultural heritage (fig. 3).



Fig. 3. Historical GIS, example of georeferencing historical cartography and orthophoto from [Malaperdas, Grethe, Zacharias 2023, p.4].

Despite the increasing diffusion of three-dimensional modeling software and the use of GIS systems for historical reconstruction in the field of cultural heritage protection, the GIS environment still presents limitations in the organization, management, and effective interrogation of architectural elements surveyed directly in the field and with BIM systems, in particular; the main challenge concerns the correct representation at an accurate level of detail and three-dimensional georeferencing of structures, maintaining their accurate spatial position and integrating data in a functional way for advanced analysis [Baratin et al. 2014]. Therefore, it is necessary to work towards the realization of a digital reconstruction system of the different spatial and temporal levels, starting from a broader spatial scale, analyzing the environmental conditions and relations with other similar testimonies, up to a more detailed scale, where parametric information models can be generated.

Data acquisition and graphic restitution

The operational phase to be able to work with these sophisticated systems consists of a survey campaign useful for data acquisition and to be able to carry out graphic restitution, as Mario Docci observes ‘‘the architectural survey is a process of knowledge aimed at the reconstruction of the project of the current state of the surveyed work, consequently the ‘survey’ of an architectural work is nothing other than the reconstruction of its project’’ [Docci 2004, p. 23]. The collection of data for graphic analysis represents the starting point for any study of existing architecture, useful to provide the basis for subsequent phases of analysis, design and conservation. Over time there has been a strong evolution, the first methodologies were based on direct techniques with measurements made manually on the artefact through the use of tools such as the metric wheel, plumb line, level, or distance meters, aligners and laser levels [Paris 2011]. Technological advancement in recent decades has allowed for the emergence and increasing implementation of indirect or instrumental methods, which have enabled the acquisition of increasingly precise data and opened the door to new scenarios, one of the most widespread methods being photogrammetric methods. Photogrammetry techniques make it possible to obtain data from surveyed objects regarding size, position, shape, and colour, through information from photographs obtained in dif-

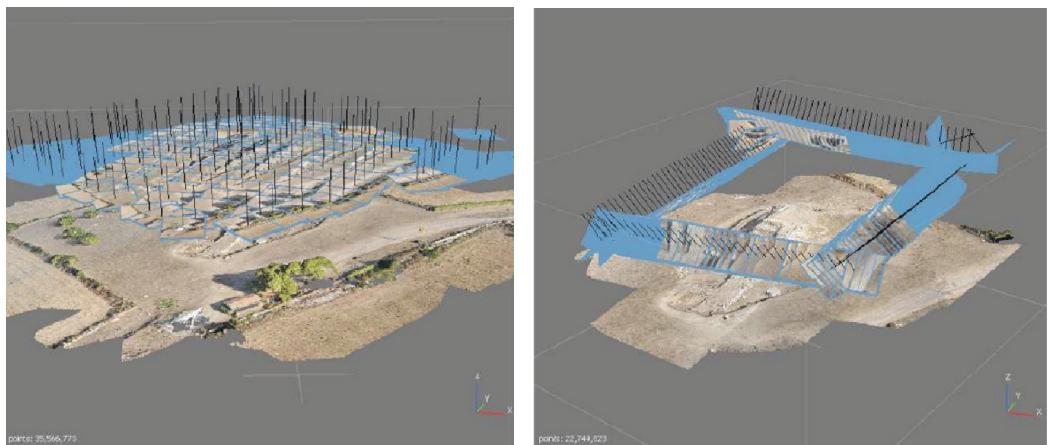


Fig. 4. Flight planning in different heights and inclinations of the chambers from Valentino, Ciccalò, Sias 2023, p. 336.

ferent positions [Cannarozzo, Cucchiari, Meschieri 2012]. With the evolution of high-resolution digital cameras that is leading to increasingly precise and accurate data and the increase in the computational capacity of modern computers and software, it is possible to obtain increasingly precise and fast reconstructions [Pritchard 2023].

Terrestrial photogrammetry has limitations, given time and the difficulty of reaching all the parts in complex structures; therefore, it is often flanked and integrated with aerial photogrammetry through the use of Remotely Piloted Aircraft (APR), which with flight planning at different heights and camera inclinations (fig. 4), allow a series of geo-referenced data to be obtained that would otherwise be difficult to obtain from a terrestrial survey.

The data obtained from a direct survey required the manual redrawing of the artefact, whereas the data obtained from the photogrammetric survey requires significantly faster steps, through the use of Structure from Motion (SfM) software, it is possible to process photogrammetric data and generate two-dimensional outputs such as the photo plan of a building or the mosaic of orthophotos for a portion of the territory, but also three-dimensional data from two-dimensional images, producing the point cloud of the object, i.e. a set of points of known spatial coordinates that include additional information such as colour data (fig. 5) [Ebrahim 2015].

In recent years, further technical evolution is represented by the Terrestrial Laser Scanner (TLS), an instrument through the emission of light pulses and the measurement of the time taken to reflect on the surface of the object and return to the sensor can determine its distance and through specific calculations directly generate a point cloud to digitally represent the object or area surveyed. This technology is widely used for surveying large areas and architectural complexes [Ebrahim 2015].

Research is turning to integration techniques between laser techniques and digital photogrammetry to produce high-quality 3D representations, with remote sensors providing



Fig. 5. Point Cloud, from [Parrinello et al. 2024, p. 541].

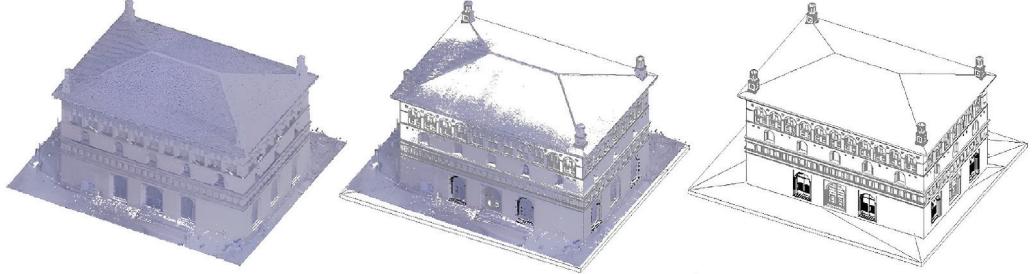


Fig. 6. Scan-To-BIM process from [Hernández, Ferreyra, Messina 2023, p. 712].

dense point clouds and photogrammetry producing high-resolution textured models, the most advanced work using her imagery to enhance point clouds or add missing details [Guarnieri, Remondino, Vettore 2006].

The acquisition of data and the obtaining of point clouds allow the data to be used for different kinds of operations, such as those to realise BIM-as-built, i.e. parametric models of the built heritage (fig. 6), this operation is called Scan-to-BIM [Son, Kim, Turkan 2015].

The integration of survey data can also be used to implement GIS databases through the integration of geometric or georeferenced point data and the integration of detailed information sheets or photos within the database, the point cloud also allows the export of digital elevation models produced by aerial surveys [Putzolu, Vicenzutto 2013].

The strong technological development of the last few years has made it possible to obtain increasingly accurate and detailed data and to obtain them in shorter times through an evolution of the tools and an integration between them. The objective is to integrate the various heterogeneous data deriving from the various phases of research on the property: documentary and cartographic analysis, historical photographic sources, survey data, and environmental context data and make them usable from the point of view of cultural heritage protection, providing the new bases for data archiving tools and tools for the use of the property by the population. Analysis cannot therefore be limited to simply documenting the state of the property, but requires a more articulated approach. In order to ensure effective interventions, it is essential to record the original appearance of historic buildings through three-dimensional point cloud models, which provide fundamental data on traditional architecture, useful for repair, maintenance and conservation [Liu, Mamat 2024].

The survey phase, therefore, represents the fundamental basis for the activation of more complex management and analysis tools, capable of integrating different dimensions, such as environmental, historical and documentary.

Conclusions and future perspectives

A multidimensional approach makes it possible to approach the issue of cultural heritage protection from different points of view by providing new tools for interpretation and enjoyment, the progress of survey technologies through photogrammetry and laser scanning has enabled significant advances in cultural heritage protection, providing useful tools for the digital reconstruction of assets and providing useful tools for investigating the historical process and relationships of these elements.

Among these, H-GIS and H-BIM are emerging as fundamental solutions: the former integrates historical and geographical data for a multi-scalar and multi-temporal analysis, while the latter allows for detailed modeling of historical structures, including physical and material information, the topic of integration in integrated models between H-BIM and H-GIS is currently debated and under development, however the effective integration of the two workflows in a single information system is still an open field of research, especially in the context of Cultural Heritage [Bruno et al. 2020].

Future perspectives aim through the skillful use of innovative digital tools at the realization of a structured approach to the analysis, and documentation of cultural heritage with a multidimensional key useful for the realization of ever-increasing fruition techniques, to do this it is useful to work on the integration and communication of H-GIS and H-BIM technologies.

Reference List

- Baratin, L., Bertozzi, S., Moretti, E. (2014). Tecnologia GIS per la manutenzione programmata dei beni culturali. In *La conservazione preventiva e programmata*. PPC Conference 2014, pp. 1-9.
- Bitelli, G. (2002). Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali. In *Atti VI Conferenza Nazionale ASITA*, vol. I, pp. IX-XXIV.
- Bruno, N., Rechichi, B., Achille, C., Zerbia, A., Roncella, R., Fassi, F. (2020). Integration of Historical GIS Data in a HBIM System. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII-B4-2020, pp. 427-434.
- Cannarozzo, A., Cuccharini, A., Meschieri, G. (2012). *Fotogrammetria*. Bologna: Zanichelli.
- Docci, M. (2004). *Metodi e tecniche integrate di rilevamento per la realizzazione di modelli virtuali dell'architettura della città*. Roma: Gangemi.
- Ebrahim, M.A.-B. (2015). 3D Laser Scanners Techniques Overview. In *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4(10), pp. 1-10.
- Empler, T., Caldarone, A., Fusinetti, A. (a cura di). (2020). *3D Modeling & BIM: Data Modeling & Management for AECO Industry*. Roma: DEI.
- Furfaro, G., Tanduo, B., Fiorini, G., Guerra, F. (2022). La fotogrammetria sferica per il rilievo del patrimonio storico-culturale: la necropoli di Anghelu Ruju. In *ASITA 2022*, pp. 261-272.
- Guarnieri, A., Remondino, F., Vettore, A. (2006). Digital photogrammetry and TLS data fusion applied to cultural heritage 3D modeling. In *IISPRS Commission V Symposium, Image Engineering and Vision Metrology*. https://www.isprs.org/proceedings/xxvii/part5/paper/1216_dresden06.pdf.
- Hernández, L. A., Ferreyra, C., Messina, B. (2023). Processo di digitalizzazione in HBIM per la gestione ampliata del patrimonio culturale. La Lonja de Zaragoza. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*. Milano: FrancoAngeli, pp. 707-726. <https://doi.org/10.3280/oa-1016-c319>.
- Lelo, K., Baiocchi, V. (2007). Georeferencing of historical cartography in a GIS environment and its verification by surveying. In *Atti XI Conferenza Nazionale ASITA*, pp. 1715-1720.
- Liu, S., Mamat, M. J. B. (2024). Application of 3D laser scanning technology for mapping and accuracy assessment of the point cloud model for the Great Achievement Palace heritage building. In *Heritage Science*, 12 (153). <https://doi.org/10.1186/s40494-024-01252-y>.
- Maiezza, P. (2019). *Ricostruendo in digitale: Metodi e modelli per i beni architettonici*. Alghero: Publca
- Malaperdas, G., Grethe, R., Zacharias, N. (2023). Depicting the past: The value of old maps and topographic diagrams in cultural heritage through GIS. In *Journal of Archaeological Science: Reports*, 52, 104276. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.104276>.
- Paris, L. (2011). Il rilievo del modello. In L. M. Papa (a cura di). *Il Disegno delle Trasformazioni. Atti del Convegno*, Napoli, 1-2 dicembre 2011. Napoli: Università degli Studi di Napoli Federico II, pp. 371-378.
- Parrinello, S., Bigongiari, M., Dell'Amico, A., Dellabartola, G., Pettineo, A. (2024). Il disegno delle isole "minori" dell'arcipelago veneziano. In F. Bergamo, A. Calandriello, M. Ciammaichella, I. Friso, F. Gay, G. Liva, C. Monteleone (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, Padova-Venezia, 12-14 settembre 2024. Milano: FrancoAngeli, pp. 541-560.
- Pritchard, D. (2023). Intersezioni tra tecnologia, comunicazione grafica e rappresentazione del patrimonio culturale. In *Disegnare. Idee, immagini*, 34(66), pp. 48-63.
- Putzolu, C., Vicenzutto, D. (2013). Il rilievo delle superfici tramite fotogrammetria 3D: Dal microscavo dei complessi tombali agli scavi in open area. In *Archeologia e Calcolatori*, 24, pp. 355-370.
- Raimbault, J. (2021). Strong coupling between scales in a multi-scalar model of urban dynamics. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.12725>.
- Son, H., Kim, C., Turkan, Y. (2015). Scan-to-BIM – An overview of the current state of the art and a look ahead. In *Proceedings 32nd ISARC*, pp. 1-8.
- Spallone, R., Piano, S., Piano, A. (2016). B.I.M. e beni architettonici: analisi e rappresentazione multiscalar e multidimensionale di un insediamento storico. Il caso studio di Montemagno, Borgo Nuovo piemontese. In *DisegnareCon*, 9, 16, pp. 13.1-13.13.
- Tolla, E., Bixio, A. (a cura di). (2012). *Un laboratorio per il rilievo*. Santa Rufina di Cittaducale: Edizioni CUES.
- Valentino, M., Ciccalò, E., Sias, A. (2023). Digital modelling, immersive fruition and divulgation of Pre-nuragic altar of Monte d'Accoddi. In A. Giordano, M. Russo, R. Spallone (Eds.). *Beyond Digital Representation. Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction*. Cham: Springer, pp. 329-342. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36155-5_21.
- Villalobos Gómez, A. (2020). Principios para la tutela efectiva del patrimonio cultural. In *Revista PH Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 101, pp. 355-357.
- Zachos, A., Anagnostopoulos, C. N. (2023). Using terrestrial laser scanning, unmanned aerial vehicles and mixed reality methodologies for digital survey, 3D modelling and historical recreation of religious heritage monuments. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.01380>.

Author

Dario Simula, Università degli Studi di Sassari, d.simula2@phd.uniss.it

To cite this chapter: Dario Simula (2025). Multidimensional Reading for Cultural and Environmental Heritage Protection, State of the Art and Future Challenges. In L. Carlevaris et al. (Eds.). *èkphrasis. Descrizioni nello spazio della rappresentazione/èkphrasis. Descriptions in the space of representation*. Proceedings of the 46th International Conference of Representation Disciplines Teachers. Milano: FrancoAngeli, pp. 1963-1978. DOI: 10.3280/oa-1430-c857.