

Futuri del Patrimonio: Ecosistemi Digitali e Paradigmi Interdisciplinari per la Ricerca del Domani

Elena Gigliarelli, Filippo Calcerano, Letizia Martinelli, Elena Verticchio, Luciano Cessari, Chadi Kouri, Alma Vecchiotti, Anna Paola Pola, Stefano Corsi

1. Introduzione

Il patrimonio architettonico e urbano è oggi una risorsa strategica per identità culturale, sostenibilità e innovazione. Nel contesto della transizione ecologica e digitale, la ricerca è chiamata a ridefinire i propri modelli conoscitivi e operativi, integrando tecnologia, umanesimo e responsabilità sociale. Nel XXI secolo la conoscenza del patrimonio non è più solo tutela del costruito, ma interpretazione di un ecosistema culturale dinamico, in dialogo con società e territorio. La crisi climatica e la rivoluzione digitale impongono di superare la frammentazione tra discipline, formati e linguaggi, trasformando i dati in conoscenza condivisa e operativa. In questo quadro, l'intelligenza artificiale (IA) potrebbe ridefinire gli strumenti della ricerca sul patrimonio, creando nuove forme di sapere applicato. Dalla documentazione digitale alla modellazione semantica, l'IA potrebbe porsi come infrastruttura cognitiva capace di connettere dati geometrici, materici, storici e ambientali, generando conoscenza relazionale e predittiva. La sinergia tra IoT, *machine learning*, *Heritage Building Information Modeling (HBIM)* e *ontologie* può trasformare i modelli digitali del costruito in un ecosistema informativo dinamico, capace di evolversi, di essere interrogato in modo intelligente e di restituire in tempo reale le proprie trasformazioni. Il futuro risiede nella costruzione di gemelli digitali semantici, modelli cognitivi che integrano interpretazione storica, diagnosi materica e previsione del rischio, orientando strategie di conservazione sostenibile e decisioni informate. Questa evoluzione richiede una riflessione sugli impatti dell'impiego di strumenti basati su IA, fondato su trasparenza, tracciabilità e responsabilità epistemologica. L'IA non sostituisce l'atto interpretativo dell'architetto-ricercatore, ma ne amplifica la capacità di leggere e immaginare il patrimonio del futuro. In tale contesto, il BHiLab dell'ISPC-CNR svolge un ruolo pionieristico nello sviluppo di ecosistemi digitali del patrimonio, intesi come infrastrutture di conoscenza integrate. Progetti come Digital Twin City, HBIM4LazioHERITAGE, BEEP e INT4CT dimostrano la validità di un approccio fondato su interoperabilità e sostenibilità. Il PRIN 2022 BEACON sperimenta l'interoperabilità tra rilievo digitale, HBIM e simulazioni energetiche, riconoscendo il patrimonio come risorsa attiva nella transizione climatica. Il programma Interreg NEXT MED SHAREN (2024–2027) estende l'approccio alla scala urbana, promuovendo comunità energetiche rinnovabili nei centri storici mediterranei. Parallelamente, il PRIN 2022 SCAENAE esplora il teatro barocco come patrimonio materiale e immateriale, valorizzando la memoria scenica attraverso modelli digitali.

2. Problema di ricerca

Le sfide che oggi attraversano la ricerca sul patrimonio culturale oltre a conservazione e documentazione dei beni, riguardano sempre di più la capacità di trasformare la conoscenza in azioni, per affrontare le opportunità e i rischi posti alla valorizzazione e dal cambiamento climatico.

La transizione digitale e verde, insieme all'evoluzione dei modelli di fruizione e gestione, impongono una radicale revisione dei paradigmi di ricerca, orientata verso processi aperti, interoperabili e interdisciplinari.

Per raggiungere questi obiettivi il laboratorio propone un proprio taglio metodologico trasversale fondato su quattro assi complementari: ecosistemi digitali e interoperabilità, transizione verde e culture-based climate action, etica e partecipazione, nuove competenze.

Questo indirizzo mira ad aprire uno spazio di confronto critico sui modelli futuri della ricerca, nella prospettiva di una scienza del patrimonio capace non solo di conservare la memoria, ma di guidare la transizione culturale, ecologica e digitale in corso.

3. Approccio proposto

3.1 Ecosistemi digitali e interoperabilità

L'interoperabilità è la condizione essenziale per trasformare la digitalizzazione in processo cognitivo e collaborativo. I progetti Digital Twin City, HBIM4LazioHERITAGE e SCAENAE mostrano come la convergenza tra HBIM, GIS e IoT generi nuovi strumenti per la conoscenza e gestione del patrimonio costruito e immateriale. L'impiego di modelli semantici e ontologie interoperabili consente invece di mettere in relazione dati geometrici, materici e documentari, assicurando continuità, tracciabilità e riuso delle informazioni nel tempo. L'ecosistema digitale non è una somma di tecnologie, ma un ambiente di cooperazione tra saperi, in cui la tecnologia agisce da mediatore epistemologico tra realtà materiale e rappresentazione cognitiva, orientando scelte di conservazione e valorizzazione.

3.2 Transizione verde e culture-based climate action

La ricerca sul patrimonio deve rispondere in modo proattivo alla sostenibilità ambientale e alla lotta al cambiamento climatico. I progetti BEEP, BEACON e SHAREN, insieme alle sperimentazioni del MOLAB di E-RIHS, sviluppano metodologie e strumenti per il miglioramento energetico e ambientale di edifici e centri storici, in linea con l'Agenda 2030. La conservazione diventa così processo adattivo, che integra diagnostica energetico-ambientale, simulazioni numeriche e strategie di mitigazione climatica. Il restauro si conferma laboratorio per l'innovazione, connettendo saperi tecnico-scientifici e umanistici. Le tecnologie IoT e Digital Twin, attraverso il monitoraggio continuo e l'analisi predittiva del degrado, aprono la via a nuovi modelli di manutenzione preventiva e gestione integrata, capaci di ottimizzare risorse e prolungare la vita utile dei beni.

3.3 Etica, partecipazione e nuove competenze

La transizione verde e digitale del patrimonio solleva questioni di etica, trasparenza e inclusione. Costruire ecosistemi digitali significa anche promuovere un "umanesimo dei dati", basato su accesso aperto, tutela della diversità culturale e responsabilità sociale.

Progetti come INT4CT e il gruppo DARIAH ARCHETIPO evidenziano l'importanza della co-creazione della conoscenza e della partecipazione delle comunità locali attraverso piattaforme collaborative. La formazione di nuove competenze diventa cruciale per garantire una gestione consapevole e condivisa del patrimonio.

4. Discussione e conclusioni: verso un nuovo umanesimo digitale

L'esperienza del BHiLab mostra come la convergenza tra tecnologie, scienze umane e sostenibilità possa generare un nuovo umanesimo digitale, in cui la conoscenza diventa strumento di cura del patrimonio e delle comunità. Il patrimonio architettonico emerge come agente di innovazione e coesione sociale, un ambito in cui la ricerca diventa strumento di resilienza culturale e ambientale. Digital Twin, monitoraggio intelligente, interoperabilità dei dati e IA consentono di evolvere da una conservazione reattiva a politiche predittive e partecipate, orientate al benessere collettivo. La sfida dei "futuri del patrimonio" non è solo preservare la memoria, ma attivarne il potenziale come risorsa per costruire il futuro.

Spunti di discussione

La sfida principale consiste nello sviluppo di modelli metodologici integrati, capaci di unire approcci qualitativi e quantitativi, riconoscendo il patrimonio come oggetto materiale e processo culturale insieme.

Domande chiave:

- Come far dialogare informazioni storiche, architettoniche, ambientali e sociali senza perdere significato?
- In che modo i digital twin possono aiutare a comprendere e gestire le trasformazioni dei beni nel tempo?
- Come può l'IA supportare la prevenzione dei danni ai beni culturali in modo etico e trasparente?
- In che modo la conservazione può diventare più sostenibile e adattiva ai cambiamenti climatici?
- Come trasformare il patrimonio da costo a risorsa per i territori?
- Quale ruolo possono assumere le comunità locali nella conoscenza e cura condivisa del patrimonio?

Bibliografia

Bucciero, A., Chirivì, A., Colella, R., Emara, M., Greco, M., Palamà, D. M., ... Zecca, D. (2024). H2IOSC Project: The Italian Federated Cluster for IoT-Based Monitoring and Digital Twinning of Cultural Heritage. *2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, 1–6. <https://doi.org/10.23919/SpliTech61897.2024.10612510>

Cursi S, Martinelli L, Calcerano F, Calvano M, Cessari L, Gigliarelli E. Digital models for built heritage representation and management. *DN Build Inf Model Data Semant.* 2022;11:14-21.

De Luca L, Busayarat C, Stefani C, Véron P, Florenzano M. A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage. *Comput Graph.* 2011;35(2):227-241.

Lucchi, E. (2023). Digital twins for the automation of the heritage construction sector. *Automation in Construction*, 156, 105073. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105073>

Martinelli, L., Calcerano, F., Adinolfi, F., Chianetta, D., & Gigliarelli, E. (2023). Open HBIM-IoT Monitoring Platform for the Management of Historical Sites and Museums. An Application to the Bourbon Royal Site of Carditello. *International Journal of Architectural Heritage*. (world). Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15583058.2023.2272130>

Martinelli, L., Calcerano, F., & Gigliarelli, E. (2022). Methodology for an HBIM workflow focused on the representation of construction systems of built heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 55, 277–289. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.03.016>

Niccolucci, F., & Felicetti, A. (2024). *Digital twin sensors in cultural heritage ontology applications*. *Sensors*, 24(12), Article 3978. <https://doi.org/10.3390/s24123978>

Radanovic, Marko, Kourosh Khoshelham, and Clive Fraser. 2020. 'Geometric Accuracy and Semantic Richness in Heritage BIM: A Review'. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 19 (December): e00166. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00166>.

Zevi L. Il manuale del restauro architettonico. Rome, Italy: Mancosu Editore; 2008.