

# Il futuro dei beni culturali: i Digital Twin e la nuova frontiera della transizione digitale

Il patrimonio culturale globale sta attraversando una trasformazione radicale grazie all'adozione di tecnologie digitali avanzate. In particolare, i digital twin (DT), modelli tridimensionali che replicano fedelmente oggetti e luoghi del patrimonio, stanno emergendo come strumenti strategici per la protezione, conservazione e valorizzazione dei beni culturali. Il futuro dei beni culturali è segnato dalla transizione digitale, con i Digital Twin come modelli 3D dinamici che consentono la gestione avanzata del patrimonio artistico aprendo nuove opportunità per la tutela, la conservazione e la valorizzazione.

DOI 10.12910/EAI2025-018

di Marialuisa Mongelli, Gianluca Calabretta, Direzione Transizione Digitale e Protezione Dati, Giovanni Ponti, Divisione per lo Sviluppo di Sistemi per l'Informatica e l'ICT - ENEA

**Il patrimonio culturale globale sta attraversando una trasformazione radicale grazie all'adozione di tecnologie digitali avanzate. In particolare, i digital twin (DT), modelli tridimensionali che replicano fedelmente oggetti e luoghi del patrimonio, stanno emergendo come strumenti strategici per la protezione, conservazione e valorizzazione dei beni culturali. Le tecnologie abilitanti, come la realtà aumentata (AR) e la realtà virtuale (VR), insieme all'intelligenza artificiale (IA) e all'Internet of Things (IoT), stanno ampliando le possibilità di interazione, analisi e monitoraggio dei beni culturali. Questi strumenti permettono di creare esperienze immersive, di migliorare la precisione nella diagnosi dello stato di conservazione e di ottimizzare gli interventi di salvaguardia e restauro.**

**È evidente che la definizione di standard per la comunicazione e l'accessibilità dei dati è cruciale per garan-**

**tire interoperabilità e inclusività per una gestione efficace, condivisa e sostenibile del patrimonio culturale.**

Questa breve memoria vuole porre in evidenza come queste tecnologie, se adottate su larga scala, possano rivoluzionare la gestione dei beni artistici, mobili e immobili, creando ecosistemi digitali nei quali l'accesso ai dati, la protezione della ownership e la condivisione tramite open data diventano essenziali. Sebbene le tecnologie digitali stiano velocemente diffondendosi, il loro potenziale per supportare il futuro della conservazione del patrimonio è innegabile, ponendo le basi per un nuovo paradigma di gestione e fruizione digitale del patrimonio culturale. I DT vanno intesi come rappresentazioni virtuali dinamiche di oggetti fisici o sistemi, che integrano dati in tempo reale e modelli digitali per l'analisi dello stato di conservazione dei beni, il monitoraggio evolutivo e la programmazione degli interventi manutentivi. In

prospettiva, l'IA attraverso algoritmi avanzati di machine learning e analisi predittiva, potrà essere utilizzata per ottimizzare questi processi, permettendo una gestione più mirata del patrimonio artistico nel tempo.

## Interoperabilità e DT

**Con il termine interoperabilità s'intende la capacità di sistemi che, anche se sviluppati da soggetti diversi o basati su tecnologie, applicazioni ed expertise differenti, sono in grado di lavorare insieme nella logica dell'accesso condiviso.** In campo beni culturali, questo significa che gli attori coinvolti, possono collaborare facilmente, accedendo alle stesse informazioni, condividendo dati tra piattaforme digitali (GIS, HBIM, sistemi IoT, ecc.). **A tal fine, è indispensabile utilizzare standard comuni** per rappresentare e archiviare informazioni e integrare diversi tipi di dati, come modelli 3D, dati storici, immagini, misure sperimentali provenienti

da una molteplicità di sensori per il monitoraggio ambientale e strutturale, analisi chimiche, ecc. al fine di monitorare criticità e pianificare interventi manutentivi. **La riduzione dei costi è un altro vantaggio significativo dell'interoperabilità**, poiché, riutilizzando dati e modelli esistenti, si riduce il bisogno di creare tutto da zero, ottimizzando risorse e tempi. Inoltre, le esperienze interattive, come la realtà aumentata (AR) e la realtà virtuale (VR), rendono i contenuti più accessibili e coinvolgenti, migliorando le applicazioni per il turismo culturale e permettendo una fruizione su dispositivi diversi.

**Un elemento cruciale nell'interoperabilità è rappresentato dalla sicurezza e protezione dei dati, specialmente quando si condividono informazioni sensibili.** L'adozione di protocolli sicuri e meccanismi di autenticazione robusti garantisce che l'accesso e lo scambio dei dati siano controllati e protetti. Infine, l'interoperabilità supporta la creazione di ecosistemi digitali sostenibili e resilienti, promuovendo la collaborazione tra enti pubblici, privati, istituzioni culturali e comunità locali per garantire una gestione integrata e partecipativa del patrimonio culturale.

### Il progetto D-TECH

Il progetto D-TECH (Digital-Twin Environment for Cultural Heritage), finanziato dalla Regione Lazio (BUR - N. 99 del 21/10/2021) nell'ambito della seconda fase dei progetti del Distretto Tecnologico per le nuove tecnologie applicate ai beni e alle attività culturali, ha raggiunto con successo l'obiettivo di sviluppare una piattaforma multimediale avanzata, rivolta ai gestori dei beni culturali.

Questa piattaforma offre servizi innovativi per la gestione, la condivisione e la valorizzazione, via web, di copie digitali di beni culturali mobili e im-

mobili. L'uso quotidiano delle nuove tecnologie per il rilievo 3D nella fase di conoscenza e diagnostica del patrimonio culturale ha messo in luce un forte disallineamento tra l'effettiva capacità tecnologica di cui i gestori dei beni culturali dispongono e le continue innovazioni hardware e software che riguardano il mondo dell'ICT.

In questo scenario, **il progetto D-TECH ha portato alla realizzazione di un prodotto innovativo, che trova applicazione in un'ampia varietà di contesti e settori, offrendo alle imprese opportunità di business significative.** La piattaforma sviluppata è progettata per gestire l'intero ciclo di vita del contenuto culturale, coprendo tutte le fasi della "catena del valore" (conoscenza, diagnostica, conservazione, restauro, valorizzazione, godimento e gestione). Questa soluzione consente la pubblicazione online di modelli 3D, HBIM, nuvole di punti e dati GIS, e offre strumenti avanzati per il monitoraggio, la pianificazione, la fruizione e la valorizzazione del patrimonio culturale, a partire dalle sue

copie digitali. La piattaforma completamente definita all'interno dei sistemi di calcolo HPC CRESCO dell'ENEA, ha, infatti, una struttura modulare costituita da componenti dockerizzati collegati tra loro, uno dei quali è il software che consente ai dati di poter dialogare, secondo una struttura semantica che, grazie all'ontologia, è in grado di stabilire relazioni con altri database, come ad esempio quello del progetto "Anagrafe" del DTC Lazio. I modelli 3D e i dati presenti in D-TECH sono interconnessi tramite questa struttura semantica comune, garantendo un'efficace gestione dei dati. In linea con gli obiettivi del bando, il progetto ha realizzato una piattaforma web-based (Figura 1) che rappresenta un forte incentivo alla digitalizzazione del patrimonio culturale e un avanzamento significativo nel settore ICT. Accanto alla piattaforma, la cui componente di base è completamente Open Source, l'impresa e i partner del progetto possono offrire una serie di servizi avanzati, disponibili secondo la logica del pay-per-use che includo-

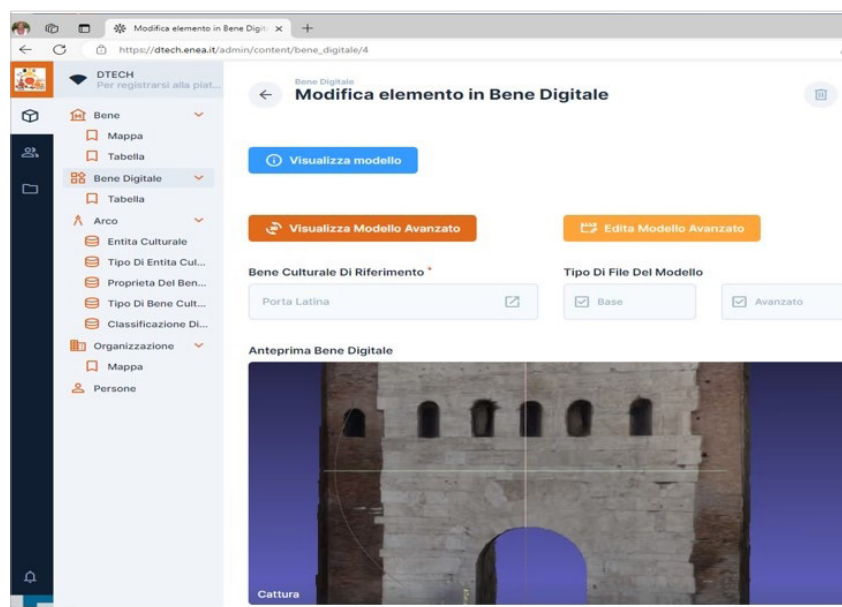


Figura 1: Pagina web di accesso alla piattaforma D-TECH; Fonte: elaborazione ENEA

no la digitalizzazione e l'archiviazione dei beni culturali, strumenti di analisi avanzata dei modelli 3D, e applicazioni mobili per la creazione di progetti personalizzati di Realtà Virtuale e Aumentata (Figura 2).

### Conclusioni e futuri sviluppi

**Il progetto D-TECH ha evidenziato le notevoli potenzialità dei DT, nel campo del patrimonio culturale, ma ha anche portato in luce le sfide che sarà necessario affrontare in futuro.** Tra queste, la standardizzazione dei dati, l'eterogeneità dei sistemi, la conservazione digitale e le problematiche legate alla sicurezza e privacy rappresentano ostacoli significativi. **Superare tali difficoltà richiede un forte impegno nell'adozione di standard comuni, nello sviluppo di piattaforme aperte e nell'implementazione di tecnologie sicure, in grado di garantire un'interoperabilità fluida e una gestione integrata del patrimonio culturale.** In prospettiva, i DT e l'Heritage Building Information Modeling (HBIM) offrono straordinarie

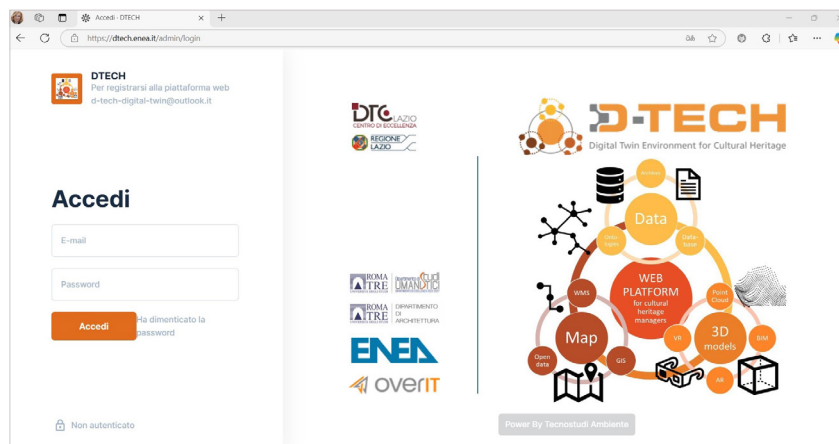


Figura 2: Layout dell'interfaccia della piattaforma D-TECH; Fonte: elaborazione Università Roma TRE Dip. Architettura

opportunità per la conservazione e la valorizzazione del patrimonio. Tuttavia, il loro utilizzo è ancora in fase di sviluppo e necessita di un ulteriore approfondimento.

**L'Intelligenza Artificiale (IA), sebbene non ancora pienamente integrata, si presenta come un alleato fondamentale per ottimizzare la gestione, il monitoraggio e gli interventi di restauro, grazie alle sue capacità di**

**analisi avanzate e automazione.** In sintesi, l'integrazione delle tecnologie digitali, unitamente alla risoluzione delle sfide legate alla standardizzazione, alla sicurezza dei dati, alla protezione e all'ownership dei dati, costituirà la chiave per il futuro della conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale.

per info: [marialuisa.mongelli@enea.it](mailto:marialuisa.mongelli@enea.it)

### Bibliografia

1. Mongelli M. et al. (2022), "Bernini's Bust Portrait of Pope Alessandro VII Chigi at Corsini Gallery in Rome: Improving Knowledge Using Digital Technologies", Handbook of Cultural Heritage Analysis. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-60016-7\\_66](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60016-7_66), pp.1896-1911, D'Amico, S., Venuti, V. (eds).
2. Puccini M. et al. (2022), A. Camassa, M. Mongelli, S. Pierattini, S. Migliori, M. Canciani, Gi. Spadafora, M. Saccone, Integrated Survey and 3D Processing on Enea CRESCO Platform: the Case Study of San Nicola in Carcere in Rome, Journal of Physics. Conference Series», n. 2204, pp. 6 ([http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2204/1/012101/pdf](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2204/1/012101/pdf)).
3. Canciani M et al. (2020), "Modelli 3D e dati GIS: una loro integrazione per lo studio e la valorizzazione dei beni culturali", Archeomatica, n°2 giugno, pp.18-23, DOI: <https://doi.org/10.48258/arc.v11i2.1749>.
4. Caponero M. et al.(2020), "Structural monitoring of the Ninfeo Ponari by fibre optic sensors, photogrammetry and laser scanning", Archeologia e Calcolatori, 31.2, pp. 223-232, doi 10.19282/ac.31.2.2020.21.