Dalle Meraviglie di Aldrovandi al Gemello Digitale: il Patrimonio Culturale tra Memoria, Trasmissione e Sostenibilità

Luisa Ammirati[1], Sebastian Barzaghi[2], Alice Bordignon[1], Simona Colitti[3] Federica Collina[2], Francesca Fabbri[1], Bruno Fanini[4], Daniele Ferdani[4], Bianca Gualandi[1,5], Ivan Heibi[1], Arcangelo Massari[1], Marcello Massidda[4], Arianna Moretti[1], Silvio Peroni[1], Sofia Pescarin[4], Maria Felicia Rega[4], Giulia Renda[1], Mattia Sullini[3]

1 Dipartimento di Filologia Classica e Italianistica, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna
2 Dipartimento dei Beni Culturali, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna
3 Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna
4 Digital Heritage Innovation Lab, Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale, Consiglio Nazionale delle Ricerche
5 ARIC - Settore Coordinamento Servizi Ricerca e Progetti di Area, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

1. Introduzione

Il progetto del *Digital Twin di Ulisse Aldrovandi* nasce con l'obiettivo di ricreare una replica digitale immersiva della mostra "L'altro Rinascimento: Ulisse Aldrovandi e le meraviglie del mondo", ospitata al Museo di Palazzo Poggi (Bologna) tra dicembre 2022 e maggio 2023. L'iniziativa si inserisce nel programma CHANGES, nello Spoke 4 – Virtual Technologies for Museums and Art Collections, dedicato alla valorizzazione del patrimonio culturale materiale e immateriale attraverso tecnologie digitali avanzate come XR, gamification e intelligenza artificiale.

L'obiettivo è realizzare un ambiente interattivo capace di riprodurre in modo accurato e duraturo un evento espositivo temporaneo, assicurandone la continuità nel tempo tramite un'acquisizione digitale conforme ai principi FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Il digital twin consente di esplorare oltre 200 reperti digitalizzati – tassidermie, fossili, manoscritti, dipinti e calchi – nella ricostruzione tridimensionale delle sei sale espositive. Ogni oggetto è corredato da metadati strutturati e machine-readable, che permettono la visualizzazione, l'ascolto di audioguide e l'esplorazione semantica delle relazioni tra temi e reti di conoscenza del Rinascimento.

Il progetto Aldrovandi si configura come caso pilota per lo Spoke 4, che comprende nove casi studio. Attraverso linee guida e best practice (Pescarin et al. 2024), il progetto sviluppa modelli museali sperimentali per rendere la dimensione digitale una componente stabile delle politiche museali future.

2. Problemi di ricerca

Nel processo di creazione del Digital Twin di Aldrovandi sono emerse tre questioni centrali che hanno guidato la riflessione metodologica e curatoriale del progetto e possono dare origine a spunti di riflessione.

1. Riproducibilità del workflow. Come documentare in modo trasparente e tracciabile ogni fase – dalla digitalizzazione alla pubblicazione – per garantire la possibilità di verificare e riutilizzare i dati secondo i principi FAIR? (Barzaghi et al. 2024, 2025). In un contesto in cui le pratiche di digitalizzazione museale sono spesso eterogenee e frammentarie, la definizione di protocolli aperti e standardizzati rappresenta un passo essenziale verso una gestione scientifica e sostenibile dei dati.
2. Qualità visiva e trasparenza scientifica. In che modo bilanciare resa fotorealistica e rigore documentario, assicurando che ogni integrazione o correzione manuale resti riconoscibile e tracciata? (Ammirati et al. 2025; Bordignon et al. 2025).
3. Trasposizione curatoriale e narrativa della mostra fisica in ambiente virtuale. Come il digital twin può restituire non solo la materialità degli oggetti, ma anche la complessità concettuale, la spazialità e i percorsi narrativi dell'esperienza museale?

Queste tre direttrici delineano il terreno su cui costruire un modello di riferimento per la museologia digitale, capace di coniugare rigore tecnico, integrità scientifica e profondità culturale.

3. Approccio proposto

Il progetto propone un workflow riproducibile per la creazione di digital twin nel patrimonio culturale, integrando rigore metodologico, sostenibilità tecnologica e qualità visiva.

Per la gestione collaborativa dei dati è stato adottato NextCloud, piattaforma open-source per la condivisione dei dataset e il coordinamento dei team. La piattaforma ATON (Fanini et al., 2021) ha fornito l'infrastruttura per la pubblicazione e la fruizione online dei modelli 3D, garantendo interoperabilità e accessibilità.

Sono state realizzate tre versioni diverse del modello 3D per ogni oggetto, in base al livello di dettaglio e all'uso previsto:

- Processed Raw Model (RAWp) – risultato iniziale ottenuto da foto o scansioni 3D, con correzioni automatiche e manuali;
- Digital Cultural Heritage Object (DCHO) – modello completo e rifinito, con geometria e texture sistemate;
- Optimised Digital Cultural Heritage Object (DCHOo) – versione alleggerita e ottimizzata per un uso fluido in tempo reale.

La raccolta dei dati 3D grezzi (RAW) ha considerato la varietà degli oggetti – reperti naturali, manoscritti, strumenti scientifici, xilografie, mappe, opere d'arte – scegliendo tra fotogrammetria e scanner a luce strutturata in base al tipo di pezzo.

Il processo si è articolato in queste fasi:

1. Acquisizione – scelta della tecnica più adatta (fotogrammetria o scansione 3D).
2. Elaborazione – sistemazione delle imperfezioni nei dati grezzi con software SfM o strumenti di scansione, ottenendo il RAWp.
3. Modellazione – interventi manuali per risolvere problemi, completare parti mancanti e creare il DCHO.

4. Ottimizzazione – riduzione della complessità per migliorare le prestazioni e ottenere il DCHOo.
5. Esportazione – salvataggio dei modelli (RAWp, DCHO, DCHOo) in formati adatti ad archivio e condivisione.
6. Metadatazione – creazione di metadati organizzati e tracciamento di ogni modifica.
7. Presentazione – pubblicazione del DCHOo sulla piattaforma web ATON, con accesso pubblico e interazione online.

Questo metodo garantisce riproducibilità, trasparenza e interoperabilità, preservando la qualità scientifica e visiva dei modelli digitali e assicurandone la riusabilità in contesti di ricerca e divulgazione.

La ricostruzione degli spazi espositivi è stata ottenuta combinando fotogrammetria e modellazione manuale, con placeholder a bassa risoluzione per preservare realismo e prestazioni.

Il digital twin è stato sviluppato come applicazione web multipiattaforma, accessibile via browser e compatibile con dispositivi VR grazie al supporto WebXR di ATON. L'ambiente virtuale comprende sei sale interconnesse, navigabili tramite porte interattive e integrate con audioguide multilingue.

Sono disponibili due modalità di fruizione:

- versione desktop, per l'esplorazione analitica dei singoli oggetti;
- versione immersiva VR, che riproduce l'esperienza della visita fisica.

4. Discussione e conclusioni

Il Digital Twin di Ulisse Aldrovandi si propone come caso pilota per l'applicazione delle tecnologie digitali alla conservazione, valorizzazione e trasmissione del patrimonio culturale, con un workflow riproducibile basato sui principi FAIR.

La distinzione tra le tre versioni dei modelli 3D assicura tracciabilità, controllo qualitativo e sostenibilità, permettendo di verificare ogni trasformazione e di garantire l'affidabilità scientifica dell'oggetto digitale.

Dal punto di vista metodologico, il progetto dimostra come un digital twin possa restituire non solo la materialità dei reperti, ma anche la complessità narrativa e curatoriale di una mostra temporanea, trasportandola in un ambiente virtuale accessibile. Ciò apre nuove prospettive per la museologia digitale, in cui la riproduzione tridimensionale non sostituisce l'esperienza fisica, ma la estende nel tempo e nello spazio, offrendo nuove opportunità per la ricerca, la didattica e la partecipazione del pubblico.

In prospettiva, il progetto invita a riflettere sul futuro del patrimonio culturale nell'era digitale. La sfida è garantire una trasmissione sostenibile dei saperi, capace di dialogare con le nuove generazioni attraverso linguaggi immersivi e interattivi.
La documentazione digitale del patrimonio si configura non solo come atto tecnico, ma come atto etico di responsabilità verso la memoria culturale collettiva e la sua trasmissione sostenibile e inclusiva attraverso piattaforme accessibili a tutti.

Bibliografia

Ammirati, L., Bordignon, A., Collina, F., Fabbri, F., Fanini, B., Ferdani, D., Rega, M. F., & Sullini, M. (2025). TRACE-ing the Gaps: Mapping Interventions on Incomplete 3D Meshes. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, X-M-2–2025, 3–11. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-M-2-2025-3-2025

Barzaghi, S., Bordignon, A., Gualandi, B., Heibi, I., Massari, A., Moretti, A., Peroni, S., & Renda, G. (2024). A Proposal for a FAIR Management of 3D Data in Cultural Heritage: The Aldrovandi Digital Twin Case. Data Intelligence. https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.02018

Barzaghi, S., Bordignon, A., Collina, F., Fabbri, F., Fanini, B., Ferdani, D., Gualandi, B., Heibi, I., Mariniello, N., Massari, A., Massidda, M., Moretti, A., Peroni, S., Pescarin, S., Rega, M. F., Renda, G., & Sullini, M. (2025). A reproducible workflow for the creation of digital twins in the cultural heritage domain (Version 4, Vol. 965, Issue 172). Transformations: A DARIAH Journal . https://doi.org/10.46298/transformations.14773

Bordignon, A., Collina, F., Fabbri, F., Fanini, B., Ferdani, D., Rega, M. F., & Sullini, M. (2025). Balancing Photorealism and Transparency: A FAIR Approach to 3D Digitisation for Cultural Heritage documentation and dissemination. https://doi.org/10.5281/ZENODO.17379356

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

Pescarin, S., Barzaghi, S., Bordignon, A., Collina, F., Fabbri, F., Fanini, B., Ferdani, D., Damiano, R., Gualandi, B., Heibi, I., Manganelli Del Fa, R., Mariniello, N., Massari, A., Massidda, M., Moretti, A., Peroni, S., Rega, M. F., Renda, G., Sullini, M., … Furferi, R. (2024). Implementation of guidelines and best practices for technology-aided narratives via prototypes (1.0). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.14251585