



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI UDINE**
hic sunt futura

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE
XXXVI CICLO DEL DOTTORATO DI RICERCA IN**

INGEGNERIA CIVILE-AMBIENTALE E ARCHITETTURA
interateneo tra l'Università degli Studi di Trieste e l'Università degli Studi di Udine

**DIGITAL MUSEOLOGY DURING PANDEMIC.
RAPPRESENTAZIONE AVANZATA BIM DI SPAZI
MUSEALI PER L'ACCESSIBILITÀ E L'ESPERIENZA
IMMERSIVA DEL PATRIMONIO CULTURALE.**

Settore scientifico-disciplinare: ICAR/17 – Disegno

**DOTTORANDO / A
DOTT.SSA POLINA MIRONENKO**

**COORDINATORE
PROF. ALBERTO SDEGNO**

**SUPERVISORE DI TESI
PROF. GIUSEPPE AMORUSO**

**CO-SUPERVISORE DI TESI
PROF. ALBERTO SDEGNO**

Giuseppe Amoroso

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

Sommario

INTRODUZIONE

PARTE I

1. *Digital museology* e accessibilità al patrimonio culturale

1. Il futuro digitale dei musei, dopo la pandemia
2. Applicazioni digitali e museologia per il museo accessibile e interattivo
3. Progettare l'esperienza museale tra rappresentazione e simulazione
4. *Digital heritage* e accessibilità multimediale: casi di studio

PARTE II

2. Simulazione avanzata di spazi museali interattivi

1. Sistemi di progettazione avanzata di ambienti interattivi
2. Rappresentazione BIM del Popular Traditions Museum di Amman
3. Programmazione visuale e librerie parametriche per gli allestimenti museali

PARTE III

3. Il Museo simulato: esperienza interattiva del Teatro Romano di Amman

1. Rappresentazione scientifica del Teatro Romano di Amman
2. Applicazioni di *Virtual Reality*, dal modello 3D all'ambiente di *game engine*
3. Storytelling e strategia di interazione e concept di allestimento museale
4. Simulare l'esperienza immersiva in ambiente *game engine*

PARTE IV

4. Conclusioni

1. Raccomandazioni per la fruizione digitale e interattiva dei musei

Bibliografia

INTRODUZIONE

La ricerca si sviluppa nell'area disciplinare del disegno digitale e della rappresentazione per focalizzare l'attenzione sulle tematiche emergenti della *digital museology*, con lo scopo di approfondire l'utilizzo degli strumenti di modellazione e simulazione, BIM e Game Engine, per il design e l'architettura. Nello specifico la tesi propone una procedura che permetta da un lato la valutazione dell'esperienza museale -lato utente- e dall'altro l'utilizzo di un modello ipertestuale di un "museo simulato" per la verifica nella realizzazione e progettazione degli allestimenti e dei percorsi museali da parte dei curatori. Durante il primo anno la ricerca si è focalizzata sull'analisi delle problematiche di accessibilità ai luoghi della cultura e d'interazione con gli stessi durante il periodo della pandemia. Sono state individuate tre problematiche principali: inaccessibilità dei luoghi fisici, assenza di adeguati servizi digitali, problemi economici relativi alle chiusure forzate, mancanza di attrattività dei luoghi della cultura.

In questo periodo i musei hanno subito un calo considerevole nel numero dei visitatori, spingendo la ricerca di nuovi approcci e idee per connettersi al pubblico, fornendo accessi diversificati alle collezioni con utilizzo dell'ICT.

Analizzando i dati riportati dal "*Museums, museum professionals and COVID-19: follow-up survey*" fornito da ICOM (International Council of Museums) risulta che il 30% dei musei chiusi durante la pandemia ha rischiato la chiusura definitiva, creando numerose perdite economiche tra le organizzazioni no profit nel settore artistico, proprio a causa della bassa propensione ad offrire servizi e contenuti digitali.

Nel report sui musei del 2022, l'ISTAT, riporta che nel corso del 2020, nonostante le limitazioni dovute alla pandemia, il 92% delle strutture museali italiane è rimasto aperto al pubblico, anche se parzialmente. La crescita progressiva del numero di visitatori registrata negli ultimi anni ha subito un brusco arresto: nel 2020 -72% i visitatori di musei, aree archeologiche, monumenti e complessi monumentali rispetto all'anno precedente. Tuttavia, anche in assenza di indirizzi specifici, 7 musei su 10 (73%) hanno promosso modalità di visita online, incrementando le iniziative e i servizi digitali già disponibili nel periodo pre-pandemia.

Il ruolo delle tecnologie è fondamentale nell'attrarre un nuovo pubblico e l'ambiente digitale offre ai musei l'opportunità di allargare i propri confini. I musei, da un lato, devono raggiungere un pubblico ampio ed eterogeneo, dall'altro, fornire un'esperienza diversificata per ciascuno. Molti musei offrono già risorse specifiche per fasce d'età e diverse categorie di utenti. Nel futuro i musei dovranno sempre più evitare di essere luoghi esclusivi e offrire ambienti, spazi e strumenti, non solo fisici, inclusivi e convertirsi da luoghi dove fare esperienze educative e di apprendimento.

Secondo Stiglitz, viviamo in una società orientata all'apprendimento continuo ma il pericolo è che i fattori globalizzanti aumentino le diseguaglianze a svantaggio della qualità della vita e di alcune categorie sociali. In una società in cui vivono, lavorano e si organizzano donne e uomini che incontrano ogni giorno il sapere e le conoscenze come nuovo capitale¹ la nuova condizione umana ci porta quotidianamente a usare strumenti digitali che potrebbero ridurre e compensare il gap di accesso al sapere e sviluppare le competenze necessarie nel mondo globale.

Le tecnologie forniscono metodologie e strumenti in termini di conservazione, studio e comunicazione del patrimonio, ma anche di creazione di una nuova forma ed immagine del patrimonio stesso; tale innovazione richiede la sperimentazione di nuovi modi di condivisione e disseminazione delle conoscenze.

Per assolvere alla missione educativa, gli spazi dedicati alla cultura hanno bisogno di andare oltre la dimensione fisica e tangibile per attivare quelle azioni di comunicazione e condivisione del loro patrimonio inteso anche nella accezione immateriale e dei servizi legati alla accessibilità. L'utente si concentra su contenuti interattivi e più personalizzati, e questo sta cambiando sia il modo in cui percepiamo il patrimonio culturale, e lo facciamo nostro, sia le modalità tramite le quali viene reso accessibile: ad esempio la *gamification* e lo *storytelling* diventano quindi gli strumenti multimediali per connettere i contenuti agli utenti.

Tra le applicazioni principali del settore museale troviamo:

1. Digitalizzazione degli archivi museali, *digital libraries* e *repositories*, produzione di mostre multimediali, stampa 3D
2. Diversificazione dei formati di *gamification* e di *edutainment* (trasmissioni in diretta, lezioni online, giochi, quiz)
3. Formazione continua dei visitatori sia all'interno che all'esterno del museo, e quindi estensione dell'esperienza museale
4. Sistemi VR/AR negli allestimenti, maggiore interazione e introduzione di uno spazio immersivo e più adattabile ai diversi usi
5. Utilizzo di algoritmi e analisi delle preferenze dell'utente per creare percorsi di visita personalizzati, *web-mentoring*
6. Progettazione partecipata, *co-design*, prototipazione e simulazione

La ricerca ha avviato con la sperimentazione dei principali software di modellazione parametrica (BIM) e di simulazione avanzata (Game Engine); soprattutto la simulazione avanzata è di sicuro interesse per il settore disciplinare del design e dell'architettura, trattandosi di una struttura software progettata principalmente per lo sviluppo di ambienti virtuali interattivi verificabile tramite apposite strumentazioni (visori, caschi, cave, teatri virtuali, piattaforme online). La simulazione, attraverso il ricorso a librerie dedicate e

¹ Landini, S., Gallegati, M., & Stiglitz, J.E. (2015). Economies with heterogeneous interacting learning agents. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 10, 91-118.

programmi di supporto permette la verifica dei diversi elementi progettuali ma può integrare, in maniera innovativa, anche parametri funzionali legati alle singole installazioni fisiche e multimediali (showroom, ambienti museali, installazioni di domotica, sale ospedaliere, stand temporanei) facendo ricorso a nuovi protocolli e procedure di rappresentazione avanzata.

La fase di test e verifica delle procedure è stata condotta sul sito del Teatro Romano di Amman, in Giordania, dove si trovano il Folklore Museum e il Popular Traditions Museum, destinatari di un ampio programma di riallestimento secondo i principi del design esperienziale e della accessibilità universale. In particolare, l'interesse di ricerca si è rivolto alla modellazione degli ambienti a partire dai dati del rilievo per scansione laser, alla verifica della funzionalità degli allestimenti, alla simulazione dell'esperienza utente, all'interazione con i dispositivi multimediali oltre che al collaudo dei contenuti digitali riferibili agli oggetti esposti. Le nuove prospettive museologiche, per i musei delle culture o, citando l'UNESCO, dei paesaggi culturali, individuano nella capacità di raccontare storie una nuova identità per i luoghi della cultura (musei ma anche biblioteche), spesso periferici e marginali rispetto alle grandi gallerie nazionali o ai musei dedicati ai grandi artisti. Nel caso di studio, del Popular Traditions Museum, le procedure di sperimentazione hanno potuto simulare, a beneficio delle diverse categorie di utenti ma anche dei curatori e dei decisori, le soluzioni proposte per superare la scarsa interazione dei visitatori con le soluzioni allestitiva e l'assenza di dinamiche di apprendimento esperienziali. Infatti, le infrastrutture di accessibilità e di accoglienza sono sottodimensionate mentre l'interazione con le collezioni è scarsa poiché gli oggetti (abiti, gioielli, prodotti artigianali) non sono contestualizzati e non permettono la comprensione dell'origine, delle lavorazioni, delle tradizioni artigianali ad essi riconducibili. Dal punto di vista ambientale la visibilità è carente, in qualche caso assente oppure scarsamente integrata con la componente allestitiva ed espositiva così come gli espositori stessi limitano il pieno godimento delle collezioni. Il visitatore non ha consapevolezza dello straordinario sapere che l'artigiano che ha prodotto tali oggetti tramanda con le sue mani e quali utensili permettono di esprimere la creatività nelle diverse tecniche realizzative. Non è chiaro quali sono i fattori esclusivi di attrazione sui quali l'allestimento può svolgere il ruolo di valorizzazione e allo stesso tempo non si evince la definizione delle relazioni e dei legami tra le risorse culturali esposte. I musei non offrono contenuti da leggere o ascoltare, non creando uno spazio inclusivo o permettendo una dinamica di apprendimento che potrebbe favorire il visitatore mentre l'esperienza è limitata ad una breve passeggiata al loro interno. Non si evidenzia il ricco patrimonio immateriale legato agli oggetti, ai rituali e alle tradizioni beduine nonché alle specificità della cultura giordana. L'assenza di ausili tecnologici ovvero di un percorso di apprendimento non permette una piena accessibilità a tutti gli utenti; non sono presenti, inoltre, dispositivi per l'esperienza tattile o senza barriere per categorie

di utenti speciali ovvero anche per bambini. Inoltre, gli espositori sono obsoleti ed inadeguati, non integrano elementi informativi e non consentono un percorso consapevole al visitatore poiché non sono chiari i tematismi legati ai contenuti presenti. Data la particolarità delle collezioni, oggetti di produzione artigianali fortemente eterogenei e fragili nella loro tecnica di produzione (ad esempio il ricamo piuttosto che l'ornamento dei gioielli) richiedono condizioni di esposizione speciali, luce adeguata, mobili, espositori e accessori adeguati a poterli fruire correttamente. In tale direzione si è svolta la sperimentazione di routine di programmazione visuale e algoritmica sviluppando le librerie parametriche del software BIM al fine di verificare per ciascuna categoria artigianale l'adeguata soluzione di allestimento e la dotazione di accessori, pannelli e impianti per valorizzare e rendere sicura la loro conservazione ed esposizione. Una applicazione specifica dei BIM per il settore allestitivo e del design di interni risiede nella possibilità di sfruttare le componenti parametriche ed algoritmiche del software. Gli oggetti grafici hanno un ruolo determinante nella progettazione BIM, sin dalle prime fasi della progettazione. Li posizioniamo come se fossero volumi della nostra composizione, ma in realtà contengono al loro interno dati e parametri che anticipano la loro funzione, le modalità di posa in opera e il loro uso nel tempo. Gli oggetti stessi costituiscono l'interfaccia fra la progettazione grafica, intesa come processo mentale e creativo, e il processo costruttivo, fatto di innumerevoli scelte tecniche e di compromesso.

Lo strumento algoritmico PARAM-O di ArchiCAD è stato oggetto di sperimentazione verificandone le caratteristiche di programmazione parametrica; l'interfaccia a nodi visuali sostituisce l'uso degli script, integra ed estende i comandi di modellazione parametrica già tipici dei BIM: la modifica dei feature tipologici e topologici permette di creare elementi parametrici di libreria senza dover scrivere direttamente il codice GDL (*Geometric Description Language*). Nel caso dell'allestimento e della esposizione di gioielli e costumi tradizionali del Popular Traditions Museum di Amman sono state ideate e create le librerie personalizzate di espositori, mobili e pannellistica.

Il risultato è un catalogo di prodotti di arredo nel formato della libreria parametrica completamente compatibile con l'ambiente BIM, un'alternativa più efficiente all'integrazione delle procedure che usano la programmazione algoritmica di Grasshopper.

È stata sviluppata così una libreria di oggetti personalizzati e specifici rispettando gli standard di *universal design*, comunicazione accessibile e progettazione di ambienti museali accessibili.

Il concetto di oggetto parametrico è importante perché attraverso le caratteristiche dell'oggetto è possibile riutilizzare il layout dello stesso elemento per svariate soluzioni, adattandolo modularmente, integrandolo con accessori e componenti speciali e creando finalmente installazioni *site-specific*.

Questo metodo permette di fornire in modo rapido e semplice infinite varianti progettuali dando molte opzioni ai progettisti e ai curatori che possono

dialogare attraverso le simulazioni interattive per verificare soluzioni di allestimento ed affinare l'allestimento museale in relazione alla *user experience* stabilita. In questo caso il software ArchiCAD permette la condivisione di un modello progettuale qualificato, che trasforma il modello in un contenitore interattivo ed ipertestuale, al quale collegare informazioni, schede tecniche ed elaborati relativi alle diverse visualizzazioni standards (assonometrie e proiezioni ortogonali, esecutivi, capitolati). Utilizzando il modulo PARAM-O sono state definite tutte le caratteristiche degli oggetti da installare attraverso un processo di programmazione che fissa i "nodi", cioè i moduli parametrici, e le loro connessioni, che definiscono la configurazione completa da installare, struttura, pannelli, impianti e accessori; i nodi permettono di completare il modello parametrico e algoritmico con le sue forme, qualità, materiali, colori e accessori. La ricostruzione tridimensionale del sito del Teatro Romano, tramite la rappresentazione dei dati dal rilievo architettonico per scansione laser, è stata finalizzata alla progettazione di un allestimento multimediale per offrire al visitatore una visita interattiva del sito archeologico e la possibilità di fruire di modelli tattili che ne raccontano la sua storia. Su questo ambito è stata poi effettuata la sperimentazione di un percorso museale e di allestimento interattivo tramite una applicazione di simulazione avanzata per visualizzare ambienti 3d immersivi in rendering real-time. Dall'ambiente BIM è possibile fare una *live connection* con gli strumenti di sviluppo visivo della suite di *game engine* che fornisce funzionalità che facilitano la simulazione grafica ma anche strumenti per aggiungere livelli multimediali come l'audio, la simulazione cinematografica e applicazioni di intelligenza artificiale (AI) per il design ambientale. Questi motori di gioco, talvolta chiamati "middleware", forniscono una piattaforma software flessibile e riutilizzabile che integra tutte le funzionalità necessarie per sviluppare un'applicazione esperienziale riducendo complessità, costi e quindi fornendo previsioni, verifiche, soluzioni. Nel caso specifico è stato testato un motore di rendering *real-time*, Twinmotion, che fa parte della suite di Unreal Engine sviluppata da Epic Games. Questo strumento ha permesso la progettazione immersiva dell'allestimento di una mostra sul Teatro Romano di Amman nel quadro del progetto di cooperazione internazionale sulla valorizzazione esperienziale ed interattiva delle collezioni museali del Popular Traditions Museum di Amman². Sono state testate le diverse installazioni per rendere accessibili gli spazi museali ed espositivi; attraverso applicazioni di Mixed Reality, i prototipi digitali sono stati verificati tramite la simulazione avanzata in ambienti immersivi, utilizzando una infrastruttura tipo teatro virtuale disponibile presso il Dipartimento di Design del Politecnico di

² La parte applicativa della ricerca è svolta nell'ambito di un progetto di cooperazione internazionale in collaborazione con il Department of Antiquities del Ministry of Tourism and Antiquities del Hashemite Kingdom of Jordan, finanziato dalla Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo per la valorizzazione del Museo del Folclore e del Museo delle Tradizioni Popolari presso il Teatro Romano di Amman.

Milano³. La tesi è suddivisa in tre parti più le conclusioni, nella parte I, Digital museology e accessibilità al patrimonio culturale, la ricerca ha analizzato l'impatto sul settore museale e le conseguenze sull'accessibilità alla conoscenza della recente crisi pandemica. Nello scenario internazionale di sviluppo delle *creative industries*, il concetto innovativo di *digital museum* induce la necessità di trasformare ambienti e contenuti in chiave inclusiva, destinando attività e servizi ad una più ampia categoria di utenti; in questo capitolo si descrivono le implicazioni disciplinari, nell'area della rappresentazione, del digital heritage e dell'*interaction design*, delle innovazioni tecnologiche e di come le strategie di co-design e training degli operatori culturali possono portare ad un processo progettuale più efficiente ed allo sviluppo di soluzioni museografiche universalmente accessibili.

Nella parte II della ricerca, Simulazione avanzata di spazi museali interattivi, si descrive una metodologia applicata alla rappresentazione di ambienti museali e, più in generale, al design degli ambienti dedicati all'apprendimento e alla cultura. Si definisce una procedura di ideazione concettuale e lo sviluppo della filiera di progettazione e rappresentazione integrata a partire dal *Building Information Modelling* (BIM) e dalla possibilità di scambiare dati grazie all'interoperabilità tra i diversi software di simulazione per rappresentare, comunicare, verificare e interagire con un allestimento esperienziale.

Nella parte III della ricerca, Il Museo simulato: esperienza interattiva del Teatro Romano di Amman, si descrive un'applicazione di realtà virtuale per la rappresentazione di un allestimento museale esperienziale partendo dal caso di studio del Teatro Romano di Amman, un sito archeologico che comprende anche due musei dedicati alle culture locali. Le tecnologie di *visual information* a supporto della progettazione e della rappresentazione permettono un'esperienza immersiva degli interni museali e possono essere indirizzate sia alla produzione di contenuti multimediali che alla fruizione interattiva delle collezioni tramite allestimenti e installazioni. La sperimentazione di applicativi in uso nel settore del *gaming* permette di verificare, tramite cicli iterativi di modellazione, rappresentazione e rendering real-time, l'accessibilità, l'interazione e la funzionalità complessiva dell'ambiente museale. Nelle conclusioni termina il percorso critico della ricerca analizzando il contesto sociale della trasformazione in atto considerando i prodotti ed i servizi digitali che il *digital museum* può offrire per una adeguata attività culturale. Dalla mera visita, spesso limitata spazialmente e temporalmente, le ricerche sull'impatto sociale di musei e biblioteche e le applicazioni delle tecnologie pongono la questione dell'esperienza e della partecipazione nell'ambiente museale, un fronte che interessa anche il design, la comunicazione e i prodotti culturali collegati. Una nuova fruizione interattiva, universale, flessibile che va incontro

³ Amoroso, G. (2019). Digital Technology for Knowledge, Design and Experiential Education for Culture. In: Scuderi, A., Salvetti F. Digitalization and Cultural Heritage in Italy: Innovative and Cutting-Edge Practices, p. 12-22, Milano: FrancoAngeli.

alle diverse aspettative sia delle comunità che del visitatore, sempre più turista culturale, nativo digitale, attivista e creativo. L'ideale *user experience* di utenti, visitatori e turisti non limita più l'ambito culturale alle "mura" o al singolo episodio ma estende il concetto di visita, ne comprende la fase di programmazione, il ricorso a risorse disponibili online, pensa a strumenti pedagogici che investono la fascia in età scolare, prevede una interazione e una co-partecipazione ad eventi, iniziative e anche l'accesso continuo alle informazioni e alle collezioni digitalizzate. La tesi conclude idealmente la sua traiettoria sperimentale presentando i modelli sviluppati come set sperimentale, da un lato il modello BIM esteso nella versione BIMX per testarne le potenzialità ipertestuali ed informative, dall'altro il modello analogo e di simulazione che, sfruttando il middleware di Game Engine, permette la rappresentazione avanzata delle azioni e operazioni allestitivo, esperienziali e di verifica della soddisfazione e dell'accessibilità.

La tesi è corredata da una serie di elaborazioni ed infografiche originali che sostengono lo sviluppo logico dei metodi presenti a vantaggio della valutazione del percorso di ricerca: le illustrazioni evidenziano i presupposti e le buone pratiche nel settore del *digital heritage*, introducendo i media e le relative metodologie e presentando la configurazione di quegli ambienti interattivi, inclusivi e digitalmente assistiti che dovranno caratterizzare il museo del futuro.

PARTE I.

Digital museology e accessibilità al patrimonio culturale.

La ricerca trae origine dalla recente crisi pandemica, verificando l'impatto sul settore museale e le conseguenze sull'accessibilità al patrimonio culturale.

Analizzando lo scenario internazionale nel settore delle *creative industries*, il concetto di *digital museum* e la necessità di trasformare ambienti e contenuti in funzione di un nuovo target funzionale, si descrivono le implicazioni disciplinari, nell'area della rappresentazione e dell'interaction design, le innovazioni tecnologiche, le strategie e le soluzioni museografiche.

1. Il futuro digitale dei musei, dopo la pandemia

Durante la pandemia, gallerie e musei hanno proposto nuovi modi per coinvolgere un potenziale pubblico a distanza, sperimentando diversi livelli di coinvolgimento ed interazione. Uno studio recente ha analizzato l'offerta di percorsi di visita virtuale attraverso la modalità online sul sito del museo; l'analisi ha considerato la tipologia della rappresentazione degli ambienti, degli oggetti, delle collezioni e le forme di interazione come fattore rilevante. Oltre all'indagine comparativa, che ha coinvolto ottanta esperti che hanno valutato la visita al museo archeologico di Troia Müzesi a Çanakkale (Turchia), la domanda di ricerca si è indirizzata alla comprensione di come la rappresentazione di un museo, il *digital twin*, debba essere un surrogato adeguato a creare un'esperienza di visita immersiva⁴.

Ben prima della pandemia, era in atto, e non solo nel settore museale, un cambiamento dovuto alle recenti teorie economico-sociali di Stiglitz, Schon, Pin, Gilmore e agli indirizzi dell'OECD⁵ e dell'UNESCO. La *learning society* presenta una nuova visione contemporanea che si fonda sul sapere e sulla conoscenza come capitale umano, sociale e globale. Tale condizione è proposta con una funzione strutturale per l'economia e lo sviluppo sociale: a partire dal paradigma di Donald Schon, "*learning, reflection and change*", si traduce nella promozione della creatività a tutti i livelli, creando una coscienza critica e civica e inducendo un processo sociale di cambiamento⁶. Nel 1973, Donald Schön⁷ ha sviluppato l'idea che il cambiamento è un fattore costante per uno Stato moderno ("perdita dello Stato stabile") e quindi, per adattarsi a questo cambiamento continuo, deve formarsi una condizione permanente di apprendimento all'interno della società di quello Stato. Introduce lo scenario della "società dell'apprendimento" come strategia, filosofia e pratica educativa; l'istruzione è la chiave per lo sviluppo economico di una nazione che, secondo Schön, dovrebbe estendersi oltre l'apprendimento formale (quello praticato nelle istituzioni educative tradizionali) per essere praticato anche in ⁸colli.

Le società dell'apprendimento abbracciano un dominio più ampio rispetto al contesto locale, pedagogico, personale, considerando gli elementi dei sistemi globali per facilitare la capacità di apprendimento permanente dell'individuo. L'apprendimento permanente si indirizza alle capacità dell'individuo e definisce la società della conoscenza come il "luogo" dove svolgere tale attività, decentralizzata e deregolamentata, nell'ottica della teoria della globalizzazione.

⁴ Resta, G.P., Dicuonzo, F., Karacan, E., & Pastore, D. (2021). THE IMPACT OF VIRTUAL TOURS ON MUSEUM EXHIBITIONS AFTER THE ONSET OF Covid-19 restrictions: visitor engagement and long term PERSPECTIVES. SCIRES-IT, 11.

⁵ OECD. (2000). *Knowledge Management in the Learning Society*. Paris: OECD Publishing.

⁶ Hébert, C. (2015). Knowing and/or experiencing: a critical examination of the reflective models of John Dewey and Donald Schön. *Reflective Practice*, 16, 361 - 371.

⁷ Schön, D. A. (1973). *Beyond the Stable State. Public and private learning in a changing society*. Harmondsworth: Penguin.

⁸ Spring, J. (2009). *Globalization of Education: An Introduction*. New York: Routledge

È la “socializzazione”⁹ dell’apprendimento permanente individuale, ed è un processo supportato concretamente dalle tecnologie e dalla crescente attenzione ai social network, utilizzando le esperienze di apprendimento condivise degli individui come base per una rete più ampia di istruzione che convive formalmente e informalmente (scuole, università, formazione professionale, supporto, collaborazione, feedback, ecc.).

Il concetto di società dell’apprendimento non ha un dominio limitato o definito, poiché per sua stessa natura fa riferimento ai cambiamenti delle società e ad altri temi come la “fluidità” e l’“informalità”, indirizzandosi a contesti educativi al di fuori di quelli tradizionali.

In letteratura si trovano riferimenti per definire gli attributi principali della *learning society*¹⁰. Questi sono principalmente quattro: futuristico, sociale, riflessivo e globale.

Futuristico. La tendenza della società conoscitiva ad essere dipendente dai progressi tecnologici. Ciò può essere considerato come uno spostamento verso le economie della conoscenza nei paesi sviluppati dove il concetto di società della conoscenza è più diffuso, ma anche come riconoscimento dell’importanza delle reti e degli strumenti digitali nel consentire istruzione e formazione oltre i confini tradizionali e quelli transnazionali.

Sociale. Il riconoscimento consapevole da parte degli stati e delle istituzioni che l’apprendimento permanente (come parte della società della conoscenza) esiste specificamente per contribuire alla crescita economica di un paese e aumentare l’impegno democratico dei suoi cittadini. Piuttosto che essere uno spostamento generale e globale verso una tendenza educativa, si mira a risultati specifici che le società considerano utili al loro miglioramento.

Riflessivo. Il ruolo dell’apprendimento permanente all’interno della comunità è riconosciuto nel modello di società teorizzato, ma deve essere adattabile ai cambiamenti e flessibile rispetto alle specifiche esigenze individuali. Questi cambiamenti possono verificarsi come risultato di progressi tecnologici, modifiche legislative o preferenze personali dell’individuo che intraprende l’istruzione. Pertanto, sarà la consapevolezza della capacità di apprendimento di un individuo ad avere valore, piuttosto che ciò che l’individuo ha imparato in passato.

Globale. L’attributo finale della *learning society* richiede che, come molti prodotti sul mercato globale, l’istruzione diventi una merce e che gli studenti o i partecipanti al processo di apprendimento diventino consumatori, in grado di scegliere il tipo di istruzione che desiderano, per adattarlo alle proprie preferenze personali. Ciò sarebbe facilitato dai progressi tecnologici che consentono agli studenti di accedere alle risorse di apprendimento (e alle qualifiche) a livello globale. Con questo attributo, l’istruzione verrebbe quindi

⁹ McClellan, J. (n.d.). “Envisioning Learning Societies Across Multiple Dimensions.” Retrieved September 13, 2010, from Learning Development Institute: <http://www.learndev.org>

¹⁰ Jarvis, P. (2000). Globalisation, the learning society and comparative education. *Comparative Education*, 36 (3), 343-355.

adattata alla fornitura della “soddisfazione del cliente” per diventare economicamente giustificabile. La transizione digitale ha interessato inizialmente la parte archivistica e di catalogo, occupandosi di digitalizzazione *tout court* più che di una strategia volta alla offerta di servizi multimediali. Si è privilegiato l'uso piuttosto che fornire le basi culturali per realizzare una vera crescita culturale e professionale.

Durante la pandemia, è stato possibile, ad esempio, usufruire efficacemente di pubblicazioni digitali nel formato *ebook* non essendoci altre alternative praticabili. Per le collezioni dei musei, esclusivamente materiali, essendo conosciute e rese iconiche dalla loro fisicità, non si è riuscito a far riferimento a nessun standard istituzionale per poterle fruire.

Le tecnologie digitali possono essere utilizzate come strumenti per migliorare il coinvolgimento dei visitatori all'interno degli ambienti museali. Il confine tra il mondo fisico e quello digitale non ha ancora una definizione procedurale adeguata, lasciando alla libera iniziativa le istituzioni culturali. L'intero campo della museologia è influenzato dagli sviluppi della tecnologia digitale e, specificamente per musei, le mostre ed i media immersivi sono sempre più popolari e diffuse spostando l'attenzione sugli utenti.

Il rapporto tra le diverse tecnologie e l'influenza sulla esperienza dei visitatori è un aspetto critico; è necessario indagare sulla relazione tra tecnologia ed esperienze dei visitatori museali. Nello specifico, c'è bisogno di comprendere come concetti, teorie, modelli si sono evoluti in coerenza con le forme e le tipologie delle tecnologie integrate negli allestimenti museali.

In particolare, uno studio ha applicato un approccio quantitativo e sistematico per valutare le tendenze nel rapporto tra tecnologia ed esperienza esaminando 122 pubblicazioni¹¹. Tale ricerca ha decisamente contribuito al dibattito presentando un quadro sintetico secondo un modello di evoluzione in quattro fasi, che descrive l'integrazione della tecnologia nel contesto museale, classificando esplicitamente le diverse tecnologie utilizzate nei musei.

Tradizionalmente gli studi sui musei, comunemente definiti “*Old Museology*,”¹² hanno la tendenza a concentrarsi sui metodi di curatela per le élite della società¹³. Tuttavia, nel corso del tempo, Vergo (1989)¹⁴ ha coniato il termine “*New Museology*” in risposta al cambiamento demografico e generazionale nella società, che rifletteva il desiderio di migliorare le esperienze dei visitatori al fine di promuovere un più ampio interesse sociale nella custodia di manufatti storicamente significativi. I musei hanno promosso sempre più frequentemente i progetti rivolti a coinvolgere una gamma più ampia di visitatori, in considerazione del dibattito emergente su come coinvolgere settori della società emarginati, o marginalizzati e desiderando di migliorare le esperienze culturali

¹¹ Lu, S.E., Moyle, B.D., Reid, S., Yang, E.C., & Liu, B. (2023). Technology and museum visitor experiences: a four stage model of evolution. *Information Technology & Tourism*, 1 - 24.

¹² McCall V, Gray C (2014). Museums and the “new museology”: theory, practice and organizational change. *Mus Manag Curatorship* (1990) 29:1.

¹³ Vergo P (1989). *The new museology*. Reaktion Books, London.

¹⁴ *Ibidem*

dei visitatori¹⁵. Le questioni emergenti sui musei presuppongono un maggior coinvolgimento dei diversi operatori per abbracciare un pubblico più ampio in ciò che Macdonald¹⁶ definisce affettuosamente “la svolta verso il visitatore”. All’interno di questo quadro logico, il ruolo della tecnologia nel migliorare le esperienze dei visitatori è in rapida espansione¹⁷ e specializzazione, distaccandosi dalle discipline più ingegneristiche e informatiche da cui il digitale prende origine.

Alcuni studi esistenti si sono concentrati sul ruolo fondamentale della tecnologia nel migliorare le esperienze dei visitatori dei musei, attraverso forme di racconto emozionale e prevalentemente su come la tecnologia può creare esperienze memorabili per i visitatori dei musei¹⁸, su come le diverse generazioni accettino l’integrazione della tecnologia nei musei¹⁹ e come offrire online le esperienze dei visitatori dei musei.²⁰ Questa urgenza è scaturita come conseguenza della pandemia di COVID-19 per orientare le soluzioni e i servizi online.²¹ Le ricerche contribuiscono alla classificazione concettuale dell’efficacia delle tecnologie nel migliorare l’esperienza dei visitatori nei musei. In pratica, il modello concettuale funge da guida per i professionisti museali per comprendere le tendenze delle applicazioni tecnologiche e la loro efficacia per considerare la futura integrazione della tecnologia nei musei basati sulla quarta fase del modello.²²

L’emergere di queste tendenze è significativa per le nuove potenzialità dei media nel settore culturale ma la loro rapida diffusione impone di ripensare in chiave strategica il sistema dei beni culturali affinché gli indirizzi e le pratiche convergano verso un patrimonio accessibile.

L’attenzione ai contenuti, ai linguaggi digitali e all’esperienza degli utenti, è infatti ancora più importante rispetto alle tecnologie, peraltro soggette ad una rapida obsolescenza. Non si tratta, quindi, solo di trovare soluzioni tecnologiche efficaci o sviluppare iniziative isolate, seppure di successo: è fondamentale elaborare strategie integrate di approccio alla cultura digitale.

In uno studio recente è stato indagato l’uso delle tecnologie digitali da parte dei

¹⁵ Slak VN, Mura P (2023). Art and tourism—a systematic review of the literature. *Tour Rev* 78:1.

¹⁶ Macdonald S (2006). *A companion to museum studies*. Blackwell Publishing, Malden, Oxford, p. 362.

¹⁷ Hughes K, Moscardo G (2017). Connecting with new audiences: exploring the impact of mobile communication devices on the experiences of young adults in museums. *Visit Stud* 20:1.

¹⁸ Yang X, Zhang L (2022). Smart tourism technologies towards memorable experiences for museum visitors. *Tour Rev* 77:4.

¹⁹ Traboulsi C, Frau M, Cabiddu F (2018). Active seniors perceived value within digital museum transformation. *TQM J* 30:5.

Kang JH, Jang JC, Jeong C (2018). Understanding museum visitor satisfaction and revisit intentions through mobile guide system: moderating role of age in museum mobile guide adoption. *Asia Pac J Tour Res* 23:2.

²⁰ Mason MC, Riviezzo A, Zamparo G, Napolitano MR (2021). It is worth a visit! Website quality and visitors’ intentions in the context of corporate museums: a multimethod approach. *Curr Issue Tour* 25:18.

²¹ Resta G, Dicuonzo F, Karacan E, Pastore D (2021). The Impact of Virtual Tours on Museum Exhibitions after the Onset of Covid-19 restrictions: visitor engagement and long term perspectives. *SCIRES-IT* 11:1.

²² Neuhofer B, Buhalis D, Ladkin A (2013). Experiences, co-creation and technology: a conceptual approach to enhance tourism experiences. In: Fountain J, Moore K (eds) *CAUTHE 2013: tourism and global change: on the edge of something big*. Lincoln University, Christchurch, N.Z., p 562–571.

musei in un periodo in cui l'interazione di persona non era possibile. Lo studio si è occupato dell'impatto del periodo di confinamento sull'uso delle tecnologie museali, al fine di identificare le implicazioni per la futura progettazione dell'esperienza museale²³. Una serie di interviste con professionisti della museologia digitale nel mondo accademico e nel settore privato ha fatto scoprire che, nonostante una raffica di attività online, soprattutto durante la fase iniziale della pandemia, i musei hanno dovuto affrontare una serie di sfide interne ed esterne che spesso erano incongruenti con la loro capacità di offrire nuove forme di coinvolgimento digitale. Il confronto ha riguardato i musei di quattro paesi – Francia, Giappone, Lussemburgo e Stati Uniti – conducendo un'indagine internazionale in tre lingue sull'uso delle tecnologie digitali durante la fase iniziale della pandemia. In sintesi, le soluzioni digitali sono servite solo come sostituto temporaneo dell'esperienza museale piuttosto che come un'opportunità per inaugurare un nuovo paradigma digitale per la mediazione culturale, e molti professionisti della cultura hanno citato la mancanza di formazione digitale come un fattore limitante per una solida implementazione delle tecnologie. In conclusione, tali studi supportano il concetto di un "circolo virtuoso di partecipazione museale", con l'obiettivo di supportare l'impegno del pubblico verso i musei attraverso lo sviluppo di contenuti che si basano sull'interconnessione dell'interattività in loco e online. Emerge una nuova e diversa accessibilità al patrimonio culturale collettivo che richiede una trasformazione dei musei oltre le loro mura, proponendo un modello altamente dinamico, allargato alle comunità di utenti ed in connessione con l'ecosistema digitale globale. Adottando un modello incentrato sul visitatore e progettando esperienze per i visitatori, le priorità si spostano verso il coinvolgimento del pubblico, l'interazione con le collezioni digitali e il racconto di storie attraverso forme e strumenti non convenzionali.

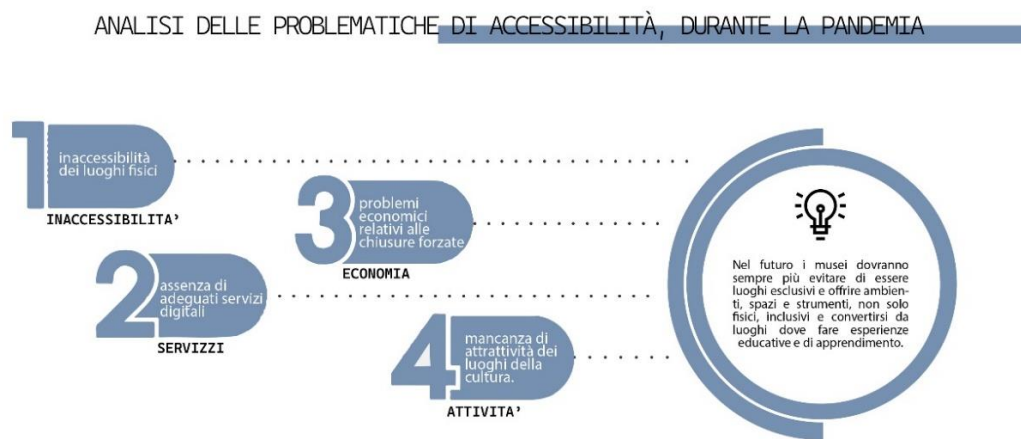


Figura 1 Analisi delle problematiche di accessibilità, durante la pandemia (Fonte: Mironenko, 2023)

²³ Morse, C., Landau, B., Lallemand, C., Wieneke, L., & Koenig, V. (2022). From #MuseumAtHome to #AtHomeAtTheMuseum: Digital Museums and Dialogical Engagement Beyond the COVID-19 Pandemic. *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 15, 1 - 29.

2. Applicazioni digitali e museologia per il museo accessibile e interattivo

Le categorie di tecnologie sono state codificate da Flavián che ha proposto un “EPI Cube”: *Embodiment, Perceptual, Interactivity*.²⁴ Il cubo EPI è stato creato sulla base di tre dimensioni: “incarnazione tecnologica”, “presenza percettiva” e “interattività comportamentale”.²⁵

Non tutte le ricerche dichiarano esplicitamente le distinzioni tra le diverse tecnologie²⁶, pertanto è stata effettuata una classificazione secondo un elenco proposto da Ch'ng et al. (2019)²⁷ e Mohd Noor Shah e Ghazali (2018)²⁸ che si basa sulla funzionalità delle tecnologie. Basandosi su questo quadro analitico, sono stati registrati diversi tipi di tecnologia: tecnologie intelligenti, comunicazione mobile, comunità virtuali, visualizzazione multimediali.

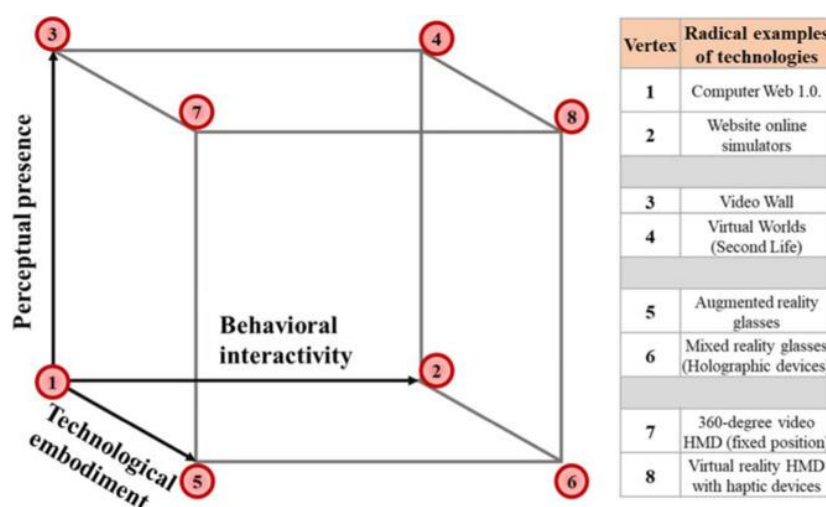


Figura 2 Il “Cubo EPI” e gli esempi estremi di tecnologie associati (Fonte: Flavián, Ibáñez-Sánchez, Orús, 2019)

Anche i social media, soprattutto negli ultimi anni, con Twitter, Instagram e Facebook sono parte di molte ricerche sulla trasformazione digitale.

Nel contesto di un museo digitale, le visualizzazioni multimediali includono dispositivi esterni, come applicazioni multimediali e chioschi informativi, che comportano un basso grado di interattività comportamentale, dimostrando una

²⁴ Flavián C, Ibáñez-Sánchez S, Orús C (2019). The impact of virtual, augmented and mixed reality technologies on the customer experience. *J Bus Res.*

²⁵ Ogni dimensione del cubo EPI presenta divisioni complesse basate su sottili differenze di tecnologie; ad esempio, ha segmentato i display montati sulla testa (HMD) in HMD per realtà aumentata (AR), HMD per realtà virtuale (VR) e HMD per realtà mista (MR).

²⁶ Amitrano CC, Gargiulo R, Bifulco F (2018). Creating value through social media: fresh evidence from cultural organizations. *J Creat Value* 4(2):243–254.

Kuflik T, Wecker AJ, Lanir J, Stock O (2015). An integrative framework for extending the boundaries of the museum visit experience: linking the pre, during and post visit phases. *Inf Technol Tour* 15:1.

²⁷ Ch'ng E, Cai S, Leow FT, Zhang TE (2019). Adoption and use of emerging cultural technologies in China's museums. *J Cult Herit.*

²⁸ Mohd Noor Shah NF, Ghazali M (2018). A systematic review on digital technology for enhancing user experience in museums. In: Abdullah N (ed) *User science and engineering*. Springer Singapore, Singapore, pp 35–46

presenza limitata di tali soluzioni nelle classificazioni recenti.

Riferendosi sempre alla letteratura scientifica si riportano le descrizioni di alcuni termini tecnologici classificati in diversi tipi di applicazioni museali:

Tecnologie intelligenti

- VR: è una simulazione generata al computer di un ambiente che può essere vissuta attraverso sensazioni audio, visive e tattili. Il suo obiettivo è creare un'esperienza realistica e coinvolgente che possa trasportare l'utente in un mondo o luogo diverso²⁹
- AR: diversamente dalla realtà virtuale, l'AR viene generalmente visualizzata attraverso un dispositivo, come uno smartphone o un tablet, che utilizza la sua fotocamera per catturare l'ambiente circostante e quindi sovrapporre ad esso il contenuto digitale³⁰
- MR: è una tecnologia che unisce VR e AR. Consente agli oggetti digitali di integrarsi nel mondo reale e di interagire con esso in tempo reale, fornendo agli utenti un'esperienza coinvolgente di ambienti sia virtuali che reali³¹
- Eye Tracking: è l'atto di monitorare e documentare il movimento degli occhi di un individuo mentre osservano le informazioni visive³²
- Stampa 3D: è un modo di creare oggetti costruendoli strato dopo strato utilizzando una macchina speciale³³

Comunicazione mobile

- Guide mobili: sono applicazioni progettate per dispositivi mobili come smartphone e tablet che forniscono agli utenti informazioni e indicazioni su un particolare argomento o luogo³⁴

Comunità virtuali

- Metaverso: è un mondo o universo virtuale in cui le persone possono interagire con un ambiente generato dal computer e con altri utenti tramite avatar o rappresentazioni digitali di sé stessi³⁵

Visualizzazioni multimediali

- Applicazioni multimediali: sono programmi per computer che utilizzano diversi tipi di media, come immagini, suoni, video e parole,

²⁹ Sylaiou S, Mania K, Karoulis A, White M (2010). Exploring the relationship between presence and enjoyment in a virtual museum. *Int J Human Computing Studies* 68:5.

³⁰ Chang KE, Chang CT, Hou HT, Sung YT, Chao HL, Lee CM (2014) Development and behavioral pattern analysis of a mobile guide system with augmented reality for painting appreciation instruction in an art museum. *Comput Educ.*

³¹ Nisi V, Dionisio M, Barreto M, Nunes N (2018) A mixed reality neighborhood tour: understanding visitor experience and perceptions. *Entertain Comput.*

³² Pelowski M, Leder H, Mitschke V, Specker E, Gerger G, Tinio PPL et al (2018) Capturing aesthetic experiences with installation art: an empirical assessment of emotion, evaluations, and mobile eye tracking in Olafur Eliasson's "Baroque, Baroque!" *Front Psychol.*

³³ Karaduman H, Alan Ü, Yiğit EÖ (2022) Beyond "do not touch": the experience of a three-dimensional printed artifacts museum as an alternative to traditional museums for visitors who are blind and partially sighted. *Univ Access Inf Soc* 1:14.

³⁴ Dou X, Fan A, Cai L (2020) Mobile contextual marketing in a museum setting. *J Serv Mark* 35:5.

³⁵ Lee HK, Park S, Lee Y (2022) A proposal of virtual museum metaverse content for the MZ generation. *Digit Creat (exeter)* 33:2.

per mostrare informazioni o fornire esperienze divertenti alle persone che utilizzano tali interfacce multimediali³⁶

Tra i servizi che i *digital media* permettono di sviluppare si riportano i seguenti ambiti applicativi:

- marketing territoriale e museale, internazionalizzazione, distintività, branding e social marketing;
- conservazione e documentazione del patrimonio artistico, ricerca scientifica, innovazione tecnologica;
- servizi didattici, turismo scolastico;
- business models: crescita del ticketing e del merchandising, sponsorship, partecipazione a bandi pubblici;
- creazione di attrattori fisici e allestimenti innovativi, rilancio di musei con mostre temporanee anche virtuali;
- relazione col territorio, creazione di itinerari e musei diffusi, gestione dei flussi turistici e dell'*overtourism*;
- fidelizzazione del pubblico e creazione di *community*, ricerca di nuovi target, *gamification* e coinvolgimento di bambini e famiglie

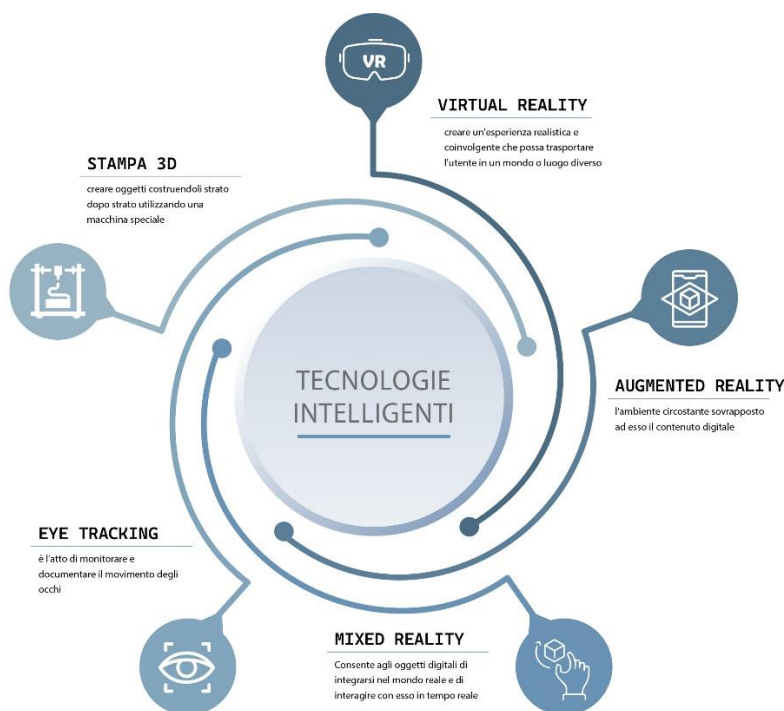


Figura 3 Censimento delle tecnologie intelligenti (Fonte: Mironenko, 2023)

In sintesi, si può dire che le esigenze tecnologiche sono molto diversificate poiché dipendono dalla tipologia di collezione e dall'ambito del museo oltre

³⁶ Economou M (1998) The evaluation of museum multimedia applications: lessons from research. *Museum Management and Curatorship* (1990) 17:2.

alla sua eventuale natura istituzionale e all'ambito di riferimento territoriale. Nel report dell'ISTAT "Musei e istituzioni similari in Italia | Anno 2020" si osserva che quasi due terzi dei musei e delle strutture espositive similari sono istituzioni pubbliche (67,9%). Ben 2mila istituti (69% del sottoinsieme a titolarità pubblica) dipendono da enti locali, mentre 444 sono istituzioni statali (15,3%) e il 4,7% istituzioni regionali. Tra gli istituti privati aperti o parzialmente aperti nel 2020, il 33,3% fa capo ad associazioni, il 21,3% a fondazioni, il 19,2% ad enti ecclesiastici e religiosi (262 strutture) mentre nell'8,4% dei casi si tratta di privati cittadini. Dal punto di vista della varietà del patrimonio, nel 21% dei casi si tratta di musei archeologici con testimonianze delle civiltà preistoriche e antiche, di aree e parchi archeologici e di manufatti di archeologia, soprattutto in Basilicata, Lazio, Sardegna e Puglia. Seguono i musei che espongono collezioni e beni di arte antica, moderna e contemporanea (17,7%), presenti soprattutto nelle Marche, in Umbria, Toscana e in Lombardia, e i musei tematici e specialistici (11,6%) localizzati principalmente nella Provincia di Bolzano/Bozen, in Friuli-Venezia Giulia e in Liguria.

I musei su usi e costumi delle comunità locali con collezioni etno-antropologiche (10,8% del totale) risultano più diffusi in Basilicata, nella Provincia di Trento e in Molise mentre quelli di arte sacra, le chiese musealizzate e i monumenti a carattere religioso (7,5% del totale) sono relativamente più presenti in Sicilia, Toscana, Umbria e Campania.

Non soltanto i grandi musei si stanno misurando con la *Digital Transformation*: il fenomeno interessa anche i piccoli musei e i siti monumentali, che possono avvalersi del digitale per ottenere una visibilità e un rapporto col pubblico finora impensabili. Nel caso italiano la maggior parte delle strutture è localizzata nelle regioni del Nord (46,2%), il 28,9% nel Centro e il 24,9% nel Mezzogiorno.

L'ISTAT descrive lo scenario italiano: nel 2020 in Italia risultavano aperti o parzialmente aperti 4.265 musei e istituzioni similari, pubblici e privati: 3.337 musei, 295 aree archeologiche e 633 monumenti o complessi monumentali.

L'offerta di strutture espositive a carattere museale ha una densità sul territorio pari a 1,4 musei o istituti similari ogni 100 kmq e a circa uno ogni 14mila abitanti in termini demografici. Più di un comune italiano su quattro (26,7%) ospita almeno un museo o un istituto similare.

Quasi la metà delle strutture espositive è nelle regioni del Nord (46,2%), il 28,9% al Centro e il 24,9% al Sud e nelle Isole. Nel Mezzogiorno si concentra oltre la metà delle aree archeologiche (51,5%); in Italia settentrionale si trovano il 49,4% dei musei e il 40% dei monumenti. La più alta concentrazione di strutture è in Toscana (541), Emilia-Romagna (402), Lombardia (387), Piemonte (346) e Lazio (357). In alcune regioni le istituzioni culturali sono diffuse in modo ancora più capillare. La quota di comuni dotati di almeno una struttura (sul totale dei centri presenti entro i confini regionali) sale al 68,1% in Toscana e al 62% in Umbria. Nelle Marche, in Emilia-Romagna e in Valle d'Aosta/Vallée d'Aoste quasi la metà dei comuni ha almeno un museo (rispettivamente 49,8%, 49,4% e 48,6%) mentre in altre regioni le strutture museali sono concentrate in un numero ristretto di comuni. Accade così in Lombardia, dove i luoghi della cultura sono presenti solo nel 14,5% dei centri

urbani, in Molise (15,4%) e in Piemonte (18,3%); anche in Campania e in Basilicata la percentuale di comuni che ospitano almeno un luogo della cultura è inferiore alla media nazionale (18,9% contro 19,1%). Dal 2006 al 2019 il pubblico del patrimonio culturale italiano è aumentato di un terzo (+33,6%), in media con un ritmo di oltre due milioni e mezzo di visitatori annui. Tra il 2018 e il 2019 si riscontra un rallentamento della crescita, un milione e mezzo di persone (+1%) contro i 10 milioni registrati tra il 2018 e il 2017, che nel 2020 si trasforma in un crollo. Con la chiusura obbligatoria delle strutture si ferma l'aumento di visitatori che aveva contraddistinto gli ultimi quattordici anni.

Il settore museale, che aveva registrato nel 2019 un totale di circa 130 milioni di pubblico, nel 2020 ne rileva 36 milioni 65mila (-72%) con una utenza media quasi cinque volte più bassa di quella accertata nel periodo pre-pandemia (9mila persone per istituto contro le 28mila del 2019).

L'esperienza del *lockdown* ha insegnato tra i servizi digitali più strategici su cui i musei ritengono prioritario investire figurano soprattutto la possibilità di offrire all'utente la visita degli ambienti espositivi attraverso tour virtuali fruibili su piattaforme web specialistiche di interesse settoriale (25,4%) e il servizio online di prenotazione delle visite (20,4%). Seguono l'interesse a incrementare la presenza del museo sui canali social (18,6%), il potenziamento di attività di promozione e presentazione delle collezioni, anche attraverso video interviste e incontri online (18%), e la possibilità di svolgere corsi formativi e laboratori didattici a distanza (13,6%).³⁷

Nel campo dei beni culturali sono pertanto necessarie altre metafore e interfacce, che abilitano nuovi format digitali, dalla realtà aumentata, basata sul riconoscimento visivo e l'aggiunta di contenuti aumentati, alle riproduzioni fotografiche panoramiche, ai libri interattivi, alle simulazioni 3D e alle storie virtuali e fino alle applicazioni multimediali più avanzate, ai serious games e alla gamification di contesti ed episodi storici.

La trasformazione digitale induce un sistema complesso che integra diverse soluzioni tecnologiche, estendendosi anche ai *devices* in possesso degli utenti e dei visitatori, senza più confini tra reale e virtuale, ovvero locale e remoto. In questo scenario aumentato e diffuso, le mostre, le installazioni e gli allestimenti possono divenire virtuali, annullando l'ambiente fisico non basandosi esclusivamente sulla presenza fisica di reperti o opere d'arte ma anche immersive e interattive con allestimenti permanenti, semi permanenti o adattivi; quest'ultima categoria ha molti livelli di adattamento e configurazione potendo essere realizzata sia all'interno di mostre che di musei tradizionali e indirizzandosi alla ideale accessibilità e ricercata esperienza utente.

³⁷ ISTAT, "Musei e istituzioni similari in Italia | Anno 2020", www.istat.it (accesso 10 Maggio 2022)

3. Progettare l'esperienza museale tra rappresentazione e simulazione.

Il design, inteso come insieme disciplinare dell'universo dell'industrial design, si occupa di progettare il valore di processi, beni, ambienti e servizi, di incrementarlo e di trasferirlo alla società e ai cittadini. Il design esperienziale propone un sistema di mediazione fra il contesto territoriale, il sistema di beni culturali o il patrimonio diffuso (memoria, storia, paesaggio) e la comunità di riferimento intesa come soggetto fruitore, permettendo molteplici forme di rappresentazione dei beni e legittimandone valori, accesso, fruizione e appropriazione differenziati, in forma diretta o utilizzando le tecnologie. In questo senso il design non si limita solamente a progettare l'esperienza di fruizione dei beni (economia dell'esperienza), ma introduce una visione innovativa, di sistema e condivisa del patrimonio culturale in tutte le sue forme; permette inoltre di attivare un percorso di apprendimento partecipato e inclusivo, di benessere sociale, che rende sostenibile e economica la sua diffusione nella comunità (dall'istituzione, all'operatore culturale, alle diverse categorie di utenti).

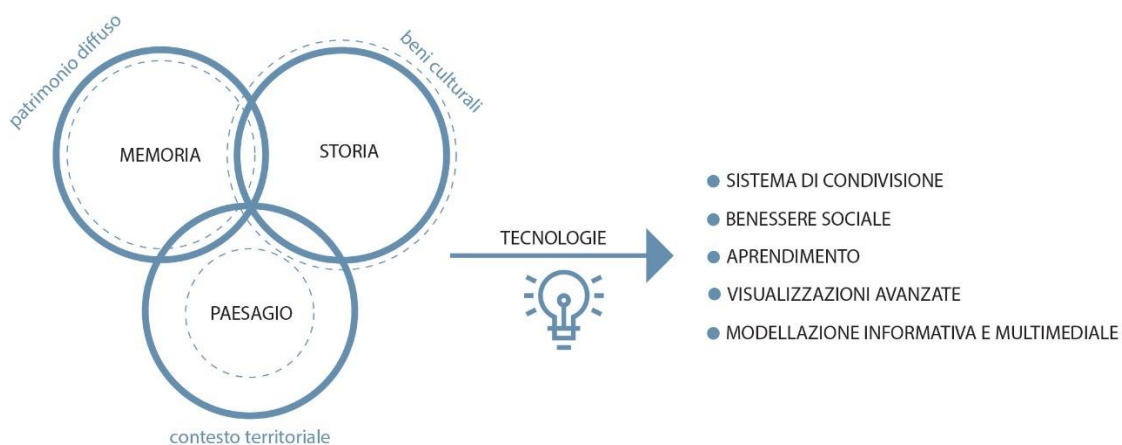


Figura 4 Principi del Design Esperienziale (Fonte: Mironenko, 2023)

L'economia dei servizi negli ultimi anni ha espresso un notevole potenziale creando un sistema innovativo a carattere sociale basato su un particolare tipo di rendimento economico. I beni e i servizi non sono più sufficienti come prodotti economici; si è creato un nuovo fabbisogno: attraverso un processo di design si può creare un progetto di fruizione integrata, cioè il progetto dell'esperienza, lasciando nelle persone un'impronta esperienziale, ossia dando forma sensoriale e psicologica all'esperienza.

Le tecnologie della conoscenza sono riconosciute come opportunità in termini di conservazione, studio e comunicazione del patrimonio, ma anche di creazione di cultura e consapevolezza che si esprime nelle forme contemporanee della condivisione e della disseminazione. L'apprendimento, nelle diverse stagioni della vita, va pertanto considerato come sorgente di una sempre più innovativa economia che diviene sostenibile e di impatto se raggiunge un numero consistente e diversificato di utenti e soggetti sociali.

Il design per i beni culturali comprende teorie, metodologie, e tecniche di valorizzazione che hanno come ambito di applicazione il sistema dei beni culturali inteso nella sua dimensione cognitiva, sociale e simbolica. Le discipline della rappresentazione dialogano con le molteplici specializzazioni disciplinari del design, proponendo la definizione di modelli interpretativi per l'analisi e la rappresentazione dei valori storici, culturali, estetici ed ambientali di un bene culturale e del suo significato materiale e immateriale. La strategia di valorizzazione produce visualizzazioni avanzate e modellazione informativa e multimediale. Inoltre, si enfatizza il valore esperienziale, di impronta emotiva e fruizione attraverso le tecnologie immersive ed interattive. Le applicazioni permettono un processo di conoscenza strutturata e flessibile anche per simulare le forme dell'innovazione e aumentare il valore sociale della trasmissione e della condivisione di contenuti culturali.

Gli spazi della cultura, infatti, per compiere la propria missione educativa, hanno bisogno di andare oltre la dimensione tangibile e sensoriale comune, al fine di comunicare e condividere un patrimonio inteso anche come processo di appropriazione e in quanto tale legato anche alla dimensione intangibile. In tale direzione va la *Convenzione per la salvaguardia del patrimonio culturale immateriale* (Parigi, 2003) che lo definisce come insieme delle «delle prassi, delle rappresentazioni, delle espressioni, delle conoscenze, del know-how – come pure gli strumenti, gli oggetti, i manufatti e gli spazi culturali associati agli stessi – che le comunità, i gruppi e, in alcuni casi, gli individui riconoscono come parte del loro patrimonio culturale»

Ancora in ambito UNESCO va ricordata la *Raccomandazione sulla protezione e promozione dei musei e delle collezioni, della loro diversità e del loro ruolo nella società* (Parigi, 2015) che evidenzia l'importanza delle tecnologie a favore del compito dei musei di educare e favorire l'apprendimento continuo.³⁸

Tra le azioni culturali che sono legate ai nuovi media e al loro linguaggio, ci sono la creazione, condivisione di informazioni e conoscenze ma anche l'accessibilità al patrimonio tramite gli artefatti digitali che rappresentano idee, identità e valori di appartenenza. A queste Manovich aggiunge anche l'esperienza culturale di tipo interattivo, la possibilità di fruire delle esperienze e dei prodotti culturali da parte dei visitatori e i modi di ricreare gli oggetti esposti, la comunicazione testuale, vocale e/o visiva e la partecipazione ad una sorta di informazione che rigenera “ecologicamente” il sapere e la sua diffusione.

Le tecnologie della conoscenza offrono molteplici opportunità e sfide agli operatori culturali e scientifici; la sfida del coinvolgimento e dell'esperienza non è solo tecnologica e di design ma è anche e forse soprattutto mentale, di immaginazione.

Ai musei, dalla *Raccomandazione* sopra citata, sono attribuite alcune funzioni primarie, tra cui la conservazione, la ricerca, la comunicazione e l'educazione. Su quest'ultimo aspetto viene sottolineato che «i musei si impegnano

³⁸ *Raccomandazione sulla protezione e promozione dei musei e delle collezioni, della loro diversità e del loro ruolo nella società*, UNESCO, Parigi, 2015

nell'educazione formale e non formale e nell'apprendimento permanente, attraverso lo sviluppo e la trasmissione della conoscenza, programmi educativi e pedagogici, in collaborazione con altre istituzioni educative, in particolare le scuole. I programmi educativi nei musei contribuiscono principalmente a educare diversi tipi di pubblico sugli argomenti delle loro collezioni e sulla vita civica, oltre a contribuire ad aumentare la consapevolezza dell'importanza di preservare il patrimonio e promuovere la creatività. I musei possono anche fornire conoscenze ed esperienze che contribuiscono alla comprensione di argomenti sociali correlati».

Gli spazi della cultura, per compiere la propria missione educativa, hanno bisogno di andare oltre la dimensione tangibile e sensoriale comune, per comunicare e condividere il patrimonio inteso anche nella dimensione intangibile tramite la sua riappropriazione. Le tecnologie nei musei sono così riconosciute come opportunità in termini di conservazione, studio e comunicazione del patrimonio, ma anche di creazione del patrimonio, condivisione e disseminazione delle conoscenze.

Le tecnologie pertanto modificano il rapporto fra gli utenti e l'ambiente di fruizione dei contenuti culturali nei musei, nelle biblioteche e nei luoghi dell'apprendimento. Gli ambienti vanno immaginati e trasformati considerando una loro estensione virtuale e permettendo una gamma di personalizzazione legata alla selezione dei contenuti. La partecipazione e la condivisione mediata dall'utente possono creare nuovi contenuti culturali, aprendo a nuove forme di apprendimento attivo e partecipato.

In questo contesto, i principi dell'*Universal Design* possono contribuire al raggiungimento di questi obiettivi migliorando l'accessibilità agli spazi³⁹, servizi e il benessere della comunità da un lato, oltre a fornire dall'altro una più profonda comprensione e consapevolezza dei processi informativi⁴⁰.

L'applicazione dei concetti ai principi della progettazione universale, secondo il Centro ricerche dell'Università statale della Carolina del Nord, considera i seguenti 7 principi fondamentali⁴¹:

Principio 1 - Equità - uso equo: utilizzabile da chiunque.

Principio 2 - Flessibilità - uso flessibile: si adatta a diverse abilità.

Principio 3 - Semplicità - uso semplice ed intuitivo: l'uso è facile da capire.

Principio 4 - Percettibilità - il trasmettere le effettive informazioni sensoriali.

Principio 5 - Tolleranza all'errore - minimizzare i rischi o azioni non volute.

Principio 6 - Contenimento dello sforzo fisico - utilizzo con minima fatica.

Principio 7 - Misure e spazi sufficienti - rendere lo spazio idoneo per l'accesso e l'uso. Il tema dell'accessibilità è strettamente legato al rapporto tra conservazione e fruibilità, attraverso il superamento delle barriere architettoniche, fisiche e percettive, per edifici preesistenti sul territorio, in

³⁹ Diken, E., & Onur, A.C. (2022). Universal Design Accessibility Criteria For The Sustainability of The Historical Urban Sites. Kent Akademisi. Volume: 15 Issue: 3, 1327 – 1340.

⁴⁰ Anche se la maggior parte dei musei italiani è stata costretta a rispettare le regole per accessibilità negli spazi pubblici dal 1971 (Legge 30/3/1971 n. 118) e più recentemente, il Decreto Legislativo 81/2008.

⁴¹ Story, M.F., Mueller, J.L., & Mace, R.L. (1998). The Universal Design File: Designing for People of All Ages and Abilities. Revised Edition. Center for Universal Design, NC State University.

modo da potersi rivolgere ad un'utenza ampliata analogamente ai principi dell'*Universal Design* per la progettazione di nuovi immobili⁴². "Accedere al patrimonio culturale è un diritto, essenziale per lo sviluppo della persona e delle collettività e per l'esistenza stessa del patrimonio, in quanto l'uno e l'altra, sviluppo ed esistenza, si fondano sull'interazione degli individui con le tracce materiali e immateriali riconosciute beni culturali e paesaggistici. L'accessibilità del patrimonio – fisica, economica, sensoriale, cognitiva, culturale – deve essere resa possibile e sostenuta dalle istituzioni che lo custodiscono, dagli studiosi, dai mediatori, con l'unico vincolo rappresentato dalle necessità di tutela, riconoscendo il ruolo della cultura nei processi di inclusione sociale e del pubblico quale parte attiva nella costruzione dei saperi inerenti al patrimonio"⁴³. I principi dell'*Universal Design* possono indirizzare i musei verso una effettiva applicazione degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG's), oltre a rafforzare il loro ruolo in una società più consapevole e partecipativa. L'Agenda 2030 delle Nazioni Unite evidenzia la necessità di "creare città e insediamenti umani inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili" (SDG 11) e ridurre le disuguaglianze (SDG 10) per la buona salute e il benessere (SDG 3) dei cittadini.

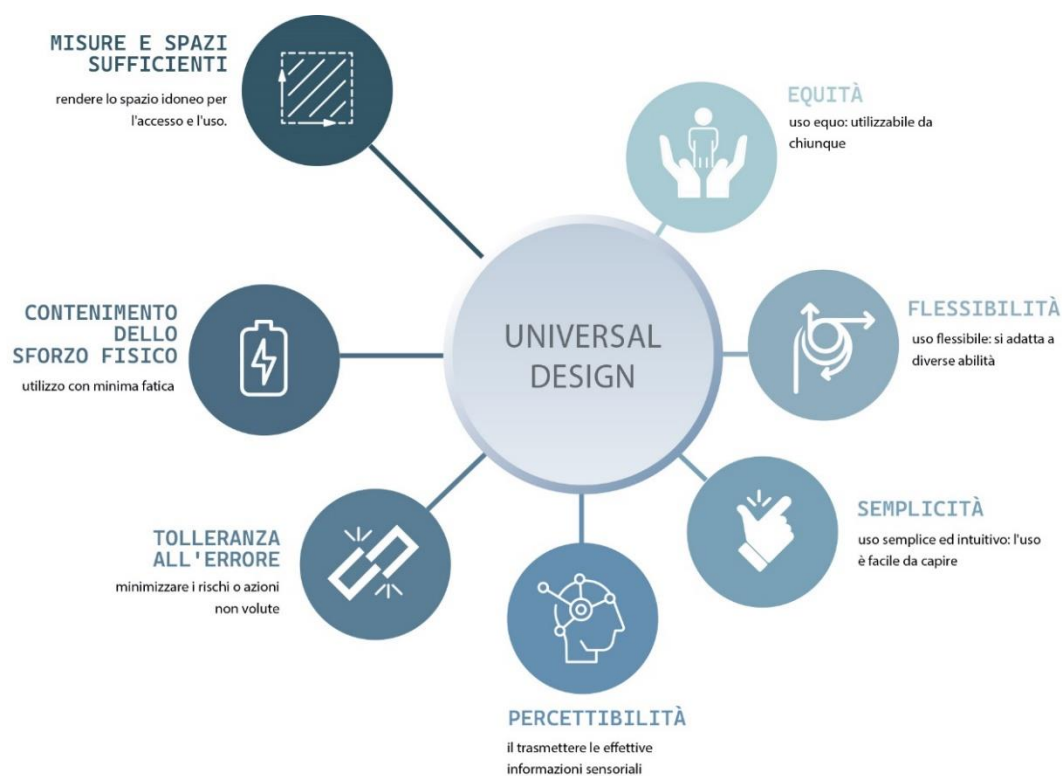


Figura 5 I principi dell'Universal Design (Fonte: Mironenko, 2023)

⁴² Il termine è stato coniato nel 1985 dall'architetto Ronald L. Mace dell'Università statale della Carolina del Nord per introdurre un metodo di progettazione innovativo che rende edifici, ambienti e prodotti sicuri e utilizzabili da chiunque, indipendentemente dalle sue condizioni.

⁴³ Bortolotti, A., Calidoni, M., Mascheroni, S. (2008) *Per l'educazione al patrimonio culturale. 22 tesi*, Milano: Franco Angeli.

Il termine *Design for All* è altresì adottato per descrivere un approccio progettuale che promuove l'uso di prodotti e di sistemi di servizi da parte di quante più persone possibile, senza richiedere adattamenti. Una progettazione universalmente utilizzabile al fine di perfezionare le discipline del design verso una attenzione per la diversità, l'inclusione sociale e l'uguaglianza (vedi la Dichiarazione di Stoccolma dell'EIDD del 1994)⁴⁴. Secondo la Commissione Europea, il *Design for All* deve incoraggiare sia produttori che fornitori di servizi a produrre nuove tecnologie per tutti, integrando i fabbisogni tecnologici delle diverse età e categorie di utenti e includendo anche i giovani piuttosto che gli anziani o coloro che sono portatori di una disabilità. L'origine del Design for All si indirizza nel campo della accessibilità senza barriere per persone con disabilità ma anche in una accezione che comprende il turismo culturale e la più ampia nozione di progettazione universale per l'apprendimento e la cultura.⁴⁵

I visitatori di un museo trascorrono meno di un minuto su ciascuno oggetto esposto; come è possibile coinvolgere i visitatori estendendo il tempo di apprezzamento dell'arte e miglioramento della propria conoscenza attraverso l'adozione vari tecnologie sono diventati un nuovo ramo di ricerca digitale. Come ha sottolineato Gurian, il museo fisico sarà mescolato con l'elemento tecnologico nel prossimo futuro. Alcuni risultati della ricerca hanno suggerito che il museo l'esperienza può essere potenziata da un'esperienza interattiva e coinvolgente ambiente⁴⁶. Di conseguenza, è prevedibile che il metodo tradizionale di descrizione dei capolavori verrà sostituito da altre modalità che ne esaltano l'impatto sensoriale e l'esperienza dei visitatori.

Le tecnologie hanno modificato lo spazio espositivo dei musei: gli ambienti si trasformano secondo un'ottica di amplificazione virtuale dei percorsi, personalizzazione (l'utente può selezionare i contenuti), partecipazione e condivisione (l'utente può creare nuovi contenuti culturali e condividerli con altri utenti), muovendosi in direzione di nuove forme di apprendimento attivo e partecipato.

A questo riguardo, Manovich ha distinto alcune specifiche azioni culturali che sono mediate dai nuovi strumenti digitali: creazione, condivisione di informazioni e conoscenze; creazione, condivisione e accessibilità di artefatti digitali che rappresentano idee e valori estetici; esperienza culturale di tipo interattivo; comunicazione testuale, vocale e/o visiva; partecipazione ad una sorta di informazione ecologica online⁴⁷.

Un altro aspetto indagato dalla ricerca è la tecnica dello *storytelling*, ampiamente sperimentata all'interno del progetto europeo '*EMOTIVE - Storytelling for Cultural Heritage*'; questo approccio presuppone che la volontà delle persone di approfondire la conoscenza dei luoghi e degli oggetti del passato passi attraverso una connessione emotiva con quei luoghi e oggetti. In altre parole,

⁴⁴ https://www.fondazionebassetti.org/pagine/2014/04/1a_dichiarazione_di_stoccolma_

⁴⁵ https://www.accessibletourism.org/resources/uk_museumsand-galleries_disability_directory_pdf_6877.pdf

⁴⁶ Gurian, E.H. (2021). *The Essential Museum. Centering the Museum.*

⁴⁷ Manovich, L. (2001). *The language of new media.* MIT Press

l'empatia con un dato luogo o oggetto che sia in qualche modo capace di riesumare frammenti del proprio vissuto (esperienze, ricordi, emozioni), diventa la principale leva per motivare la conoscenza, o l'approfondimento "culturale" in senso stretto.

Questa ricerca si sviluppa operativamente sui principi del *Design for All*⁴⁸ e l'*audience development*⁴⁹, intese come leve per espandere la partecipazione culturale sia in senso quantitativo che qualitativo. Nello specifico, un approccio Design for All garantisce l'accessibilità fisica e cognitiva degli ambienti e degli strumenti con cui i visitatori si interfacciano⁵⁰.

Questo concetto si è sviluppato in modo significativo nella letteratura nell'ambito dell'Interazione Uomo-Macchina (HCI) a seguito di numerose ricerche finanziate dalla Commissione Europea⁵¹. In termini di Audience Development, il progetto mira a conciliare la possibilità, per persone abituate a fruire di esperienze culturali, di fare un'esperienza 'deep' del patrimonio, cioè di 'approfondimento', con la possibilità di relazionarsi al prodotto culturale offerto in modo intuitivo, la cosiddetta "diversificazione".

Il progetto utilizza due concetti chiave: il primo è quello di 'oggetto sociale', concetto teorizzato dal sociologo Jyri Engeström⁵² nel contesto di una teoria più ampia chiamata 'socialità centrata sull'oggetto' e adottato nel museo da Nina Simon⁵³. Riconoscendo l'importanza degli artefatti o delle "terze entità" che creano processi di conversazione e socializzazione tra persone che non si conoscono, Simon suggerisce di ripensare gli oggetti della collezione di un museo come punti di contatto per nuove e possibili conversazioni. Fa riferimento ad una riflessione interiore, cioè ad una conversazione con sé stessi e poi alla creazione di connessioni tra gli oggetti e l'organizzazione culturale e il suo staff.

In questo processo di riappropriazione si attribuisce un ruolo strategico alla tecnologia, che abilita questa "conversazione multilivello", sia in modalità sincrona che asincrona.

Va notato che nel campo dell'*audience development*, l'ente di ricerca Morton Smyth⁵⁴ aveva già parlato della necessità che le organizzazioni culturali utilizzino 'prodotti banner', ovvero artefatti «che parlino forte e chiaro ai principianti, ai sospettosi, agli apatici, agli spaventati: questo è per quelli come

⁴⁸ Stephanidis C., Akoumianakis D., Sfyarakis M., & Paramythis A. (1998). Universal accessibility in HCI: Process-oriented design guidelines and tool requirements. Proceedings of the 4th ERCIM Workshop on User Interfaces for all, Stockholm, Sweden, p. 19-21.

⁴⁹ Bollo Alessandro et al., (2017). Study on audience development. How to place audiences at the centre of cultural organisations. Available at: <https://op.europa.eu/s/oAYm>.

⁵⁰ Mosca, E.I., Herssens, J., Rebecchi, A., Froyen, H., Capolongo, S. (2019). "Design for All" Manual: From Users' Needs to Inclusive Design Strategies. In: Bagnara, S., Tartaglia, R., Albolino, S., Alexander, T., Fujita, Y. (eds) Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). IEA 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 824. Springer, Cham.

⁵¹ Ibidem

⁵² Engeström Jyri (2005). Why some social network services work and others don't — Or: the case for object-centered sociality. Available at: <http://www.zengstrom.com/blog/2005/04/why-some-social-network-services-work-and-others-dont-or-the-case-for-object-centered-sociality.html>.

⁵³ Simon Nina (2010). The participatory museum. Santa Cruz: Museum 2.0.

⁵⁴ Morton Smyth (2004). Not for the likes of you: How to Reach a Broader Audience. Available at: <https://www.culturehive.co.uk/wp-content/uploads/2013/04/Not-for-the-Likes-of-You.pdf>

te»⁵⁵. Rispetto alle quattro categorie di oggetti sociali individuate da Simon (Personali, Attivi, Provocatori, Relazionali) la cabina-narratore rientra in quella degli oggetti 'relazionali', così definiti perché esplicitamente riferiti all'uso interpersonale. Come emblema di un oggetto sociale relazionale, Simon indica il telefono il cui utilizzo presuppone infatti la presenza di un interlocutore “dall'altra parte”, nonostante la sua invisibilità. Il telefono ci connette, nonostante la distanza. Ci permette di ascoltare e allo stesso tempo permette lo scambio di voce, insomma ci pone in uno stato dialogico, di apertura verso gli altri. Il secondo principio progettuale è quello della 'sospensione dell'incredulità', introdotto da Samuel Taylor Coleridge nel 1817. Tipico dell'uso delle rappresentazioni teatrali ma sempre più adottato in ambito espositivo/museale (tipicamente attraverso installazioni immersive), lo stato di sospensione dell'incredulità viene indotto nello spettatore attraverso l'estrema cura e coerenza degli elementi contestuali/scenici del mondo narrato. Una volta raggiunto questo stato, lo spettatore/visitatore vive l'esperienza rappresentata come se fosse vera. Questa forma di assorbimento totale porta l'apprendimento a un livello irrazionale: lo spettatore vive l'esperienza, e solo di conseguenza si ritrova ad aver imparato delle cose. Questa dinamica è anche alla base della *gamification*, che applica la tecnica della sospensione dell'incredulità nel far agire l'utente nei panni di un personaggio.

I TREND DI OGGI E FUTURO



Figura 6 Le tendenze museali di oggi e futuro (Fonte: Mironenko, 2023)

⁵⁵ Morton Smyth, p.33.

4. *Digital heritage* e accessibilità multimediale: casi di studio

Secondo l'ICOM (2007) "Il museo è un'istituzione permanente, senza scopo di lucro, al servizio della società e del suo sviluppo, aperta al pubblico, che ha come obiettivo l'acquisizione, la conservazione, la ricerca, la comunicazione e l'esposizione per scopi di studio, di educazione e di diletto, delle testimonianze materiali dell'umanità e dell'ambiente".⁵⁶

Il sistema culturale contemporaneo è la conseguenza di fenomeni globali e cambiamenti delle forme di turismo culturale e di socializzazione indotte dalle industrie creative e dai social media. Già Peter Vergo nel 1997 aveva identificato il concetto emergente di *New Museology* esaminando lo stato della museologia classica e indirizzando le ricerche teoriche verso nuovi concetti museali⁵⁷. Negli ultimi 25 anni, nuovi linguaggi globalizzanti hanno reso sociali le tecnologie portando nelle mani dei cittadini risorse culturali dal potenziale enorme. La museologia e le competenze professionali derivanti dal design, dalle conoscenze umanistiche e dall'evoluzione scientifica determinano gli obiettivi di inclusione e accessibilità per svincolare finalmente il potenziale di comunicazione del patrimonio culturale. I casi di studio qui presentati sinteticamente, si riferiscono a quattro tipologie:

ARCHAEOLOGICAL / SITE

Testimonianze delle civiltà preistoriche e antiche, di aree e parchi archeologici e di manufatti di archeologia sono spesso misteriosi per loro natura. Nell'archeologia virtuale si sviluppano applicazioni per coinvolgere gli utenti offrendo ricostruzioni ad alto impatto visivo. Valorizzare è la priorità per creare repertori digitali e restauro virtuale usando tecnologie di ricostruzione 3d digitale, AR e VR, *heritage storytelling*.

ARCHAEOLOGICAL / MUSEO

Si tratta di musei archeologici che ospitano percorsi accessibili con repliche tattili, realtà aumentata e ricostruzioni digitali da fruire con le tecnologie più avanzate VR e AR per viaggiare nel tempo.

EXHIBITION / MUSEO

Musei in cui lo spazio viene fruito tramite installazioni interattive, oppure spazi visitabili solo tramite l'ausilio di supporti digitali, ma anche spazi virtuali navigabili tramite il supporto interattivo con esperienze aggiuntive alla semplice visita in digitale. Offrire al visitatore un nuovo modello di fruizione dell'opera d'arte è la sfida dei curatori attraverso le potenzialità sempre più ampie delle nuove tecnologie.

⁵⁶ <https://www.icom-italia.org/definizione-di-museo/> (accesso 5 Novembre 2023).

⁵⁷ Vergo, P. (1997). *New museology*. Reaktion Books.

EXHIBITION / VIRTUALE

Il museo virtuale non legato esclusivamente allo spazio fisico ma che può essere consultato a distanza; ma anche installazioni museali temporanee e trasportabili per rendere la cultura alla portata di tutti. Applicazioni, sistemi e iniziative che possano comunicare tramite l'interazione diretta con l'utente; aumentano la conoscenza di uno specifico concetto tramite esperienze originali e sperimentali.

ARCHAEOLOGICAL / SITE

TEATRO ANTICO DI TAORMINA

Taormina, Italia, 2017

ITLab ha impiegato le ultime e più sofisticate tecniche di 2D e 3D VR e della augmented reality. La ricostruzione digitale tridimensionale è accessibile ai visitatori del teatro grazie a un display in site, che dà accesso immediato al 'restauro' virtuale del monumento nel luogo in cui è realmente visibile ciò che si conserva. Si comprendono con chiarezza ed elevato grado di realismo le principali caratteristiche architettoniche (forma; decorazione) ed edilizie. Inoltre, l'impiego di metodologie di rilievo tridimensionale, fondate su fotogrammetria da drone e da terra, e le possibilità interpretative date dall'ambiente di modellazione 3D, permettono al fruitore di comprendere il teatro di Taormina in una visione che è difficilmente raggiungibile con altri strumenti.

/ LASER SCANNER / DRONE / RICOSTRUZIONE DIGITALE /
/ STORYTELLING / VR / AR /



ARCHAEOLOGICAL / SITE

L'ANFITEATRO ROMANO DI CATANIA

Catania, Italia, 2015

La ricerca condotta dall'IBAM CNR ha permesso di realizzare il modello tridimensionale virtuale dell'anfiteatro romano di Catania in tutta la sua complessità dando la possibilità di far conoscere e riscoprire il simbolo dell'antico passato della città etnea. Il rilievo mediante Laser Scanner e la restituzione 3D con l'elaborazione del modello tridimensionale virtuale hanno infatti dato. Il progetto ha visto coinvolti soprattutto archeologi, architetti e geofisici in una proficua collaborazione che ha portato all'elaborazione di un modello di conoscenza innovativa, di grande impatto, in cui le esigenze della ricerca si intrecciano con quelle della valorizzazione e della fruizione del patrimonio culturale.

/ LASER SCANNER / DRONE / RICOSTRUZIONE DIGITALE /
/ STORYTELLING / VR / AR /



ARCHAEOLOGICAL / MUSEO

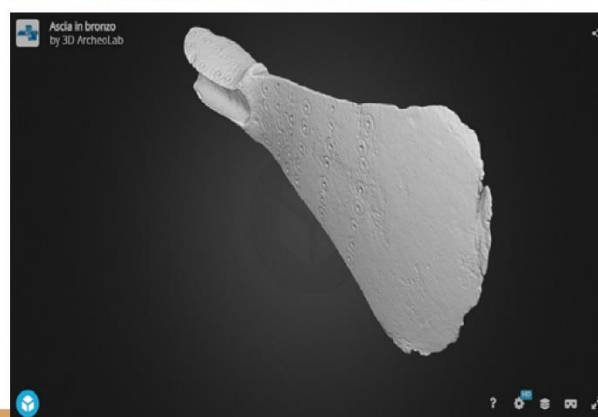
Museo Archeologico e d'Arte della Maremma

Grosseto, Italia, 2020

Per il Museo Archeologico e d'Arte della Maremma con sede a Grosseto, è stato realizzato un allestimento tattile per ciechi e ipovedenti. L'allestimento tattile comprende una serie di riproduzioni di reperti archeologici in stampa 3D, una mappa tattile a rilievo delle sale Museo, la trasposizione tattile della pagina di un corale e alcuni elementi di arredo.

Il rilievo 3D dei reperti archeologici è stato realizzato tramite scansione 3D a luce strutturata e tramite fotogrammetria digitale con il software 3DFlow Zephyr. Entrambi i sistemi presentano vantaggi e svantaggi, ma, in generale, consentono di realizzare rilievi tridimensionali con un elevato grado di dettaglio, condizione indispensabile per poi ottenere una replica fedele in stampa 3D.

/ LASER SCANNER / FOTOGRAMMETRIA /
/ RICOSTRUZIONE DIGITALE / STAMPA 3D /



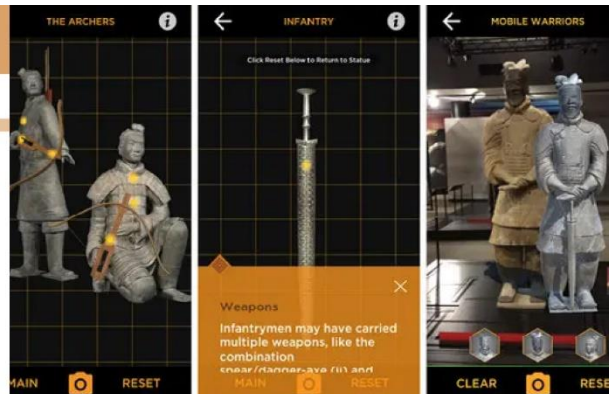
ARCHAEOLOGICAL / MUSEO

THE FRANKLIN INSTITUTE

Philadelphia, USA, 2018

I visitatori possono usufruire dell'applicazione dell'istituzione per vedere in realtà aumentata il mistero dell'Esercito di Terracotta per poterlo comprendere meglio. L'esibizione migliorata in AR include la rappresentazione di come le sculture, le armi e gli artefatti sono comparsi più di 2000 anni fa. Un bel modo per gli utenti di esplorare il decadimento, la scoperta, l'archeologia, la storia e la preservazione dei contenuti trovati nel sepolcro del primo Imperatore della Cina Qin Shihuangdi.

/ LASER SCANNER / FOTOGRAMMETRIA /
/ RICOSTRUZIONE DIGITALE / STORYTELLING / AR /



EXHIBITION / MUSEO

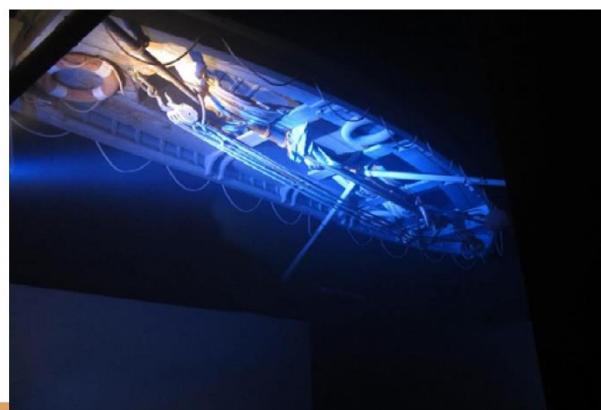
TEMPESTA 4D, Galata Museo del Mare

Genova, Italia, 2015

Realtà Virtuale, presenta un nuovo allestimento per coinvolgere ulteriormente il "visitatore-attore" nell'avventura di un naufragio a Capo Horn, a bordo di una scialuppa.

I visitatori, 18 persone contemporaneamente, sono invitati a prendere posto su speciali sedili dinamici, all'interno della scialuppa di salvataggio, e, dotati di un visore di realtà virtuale (Samsung Gear VR), sono invitati a prendere posto all'interno della scialuppa (Samsung Gear VR), possono vivere in prima persona l'emozionante viaggio nel mare in tempesta. La creazione di questa applicazione di realtà virtuale si colloca in una prospettiva di innovazione e di connessione tra esperienza culturale-museale e esperienza culturale-museale e dispositivi tecnologici sempre più avanzati.

/ STORYTELLING / VR /



EXHIBITION / MUSEO

KLIMT EXPERIENCE, MUDEC

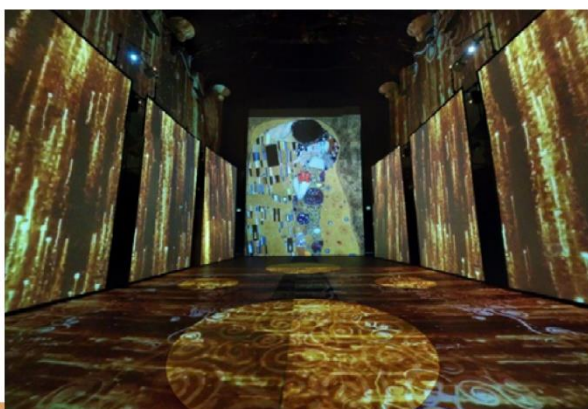
Milano, Italia, 2022

Una rappresentazione multimediale totalmente immersiva dedicata al padre fondatore della Secessione viennese.

L'obiettivo di questa mostra multimediale è quello di offrire al visitatore un nuovo modello di fruizione dell'opera d'arte attraverso le potenzialità sempre più ampie delle nuove tecnologie. Emozionare, affascinare, emozionare e stupire il pubblico dei giovani e degli adulti, invitandoli ad approfondire il tema dell'opera d'arte.

In un'unica "experience-room" il visitatore potrà vivere un'esperienza immersiva a 360° che coinvolgerà tutto lo spazio disponibile senza interruzioni.

/ STORYTELLING / VR /



EXHIBITION / MUSEO

NATIONAL MUSEUM OF AFRICAN AMERICAN HISTORY AND CULTURE

Washington, USA, 2021

Il museo permette a vedere come le loro storie, le loro storie e le loro culture sono modellate e informate dalle influenze globali.

RAA ha progettato dodici gallerie, accompagnando i visitatori in un viaggio radicato nella storia, abbracciato dalla comunità e celebrando la cultura. Le gallerie "Storia" coprono 400 anni di storia dell'America: schiavitù e libertà, era della segregazione e oltre il 1968. Le gallerie "Cultura" presentano espressioni culturali, presa del palco, incroci musicali e arti visive. Esplorando la storia, i lettori hanno l'opzione del miglioramento dato dall'AR per avere un visuale migliore e una comprensione globale delle critiche tanto acclamate di Philip Kennicott.

/ STORYTELLING / VR / AR /



EXHIBITION / MUSEO

TOTAL CINEMA 360° , THE MET

New York, USA, 2019

Questa pluripremiata serie di sei brevi video invita gli spettatori di tutto il mondo a visitare virtualmente l'arte e l'architettura del Met in un modo nuovo e coinvolgente. Creata con la tecnologia sferica a 360°, permette agli spettatori di esplorare alcuni degli spazi iconici del Museo come mai prima d'ora.

Gli spettatori possono sperimentare la magia di trovarsi in una galleria vuota dopo l'orario di apertura, assistere a uno spazio affollato in time-lapse o fluttuare in alto sopra i chiostri del Met per una visione a volo d'uccello.

Abbiamo teso cavi, rimosso opere d'arte e abbiamo montato le telecamere in alto, per consentire agli spettatori di esplorare il Met come mai prima d'ora.

/ STORYTELLING / VR /



EXHIBITION / VIRTUALE

VIRTUAL IMMERSIVE TOUR

MIA - Acea Immersive Museum

Viaggio nel tempo in un museo digitale e interattivo. Il patrimonio storico del Gruppo Acea non racconta solo la storia della crescita e dello sviluppo dell'azienda, ma è una testimonianza tangibile di come siano cambiati negli anni molteplici aspetti della società, dalla tecnologia all'urbanistica, passando per i cambiamenti culturali e sociali. Il risultato sono 12 argomenti, organizzati in 12 stanze virtuali, ciascuna con un titolo che spiega cosa troveranno al suo interno i visitatori.

/ RICOSTRUZIONE DIGITALE /
/ TOUR VIRTUALE / STORYTELLING / VR /



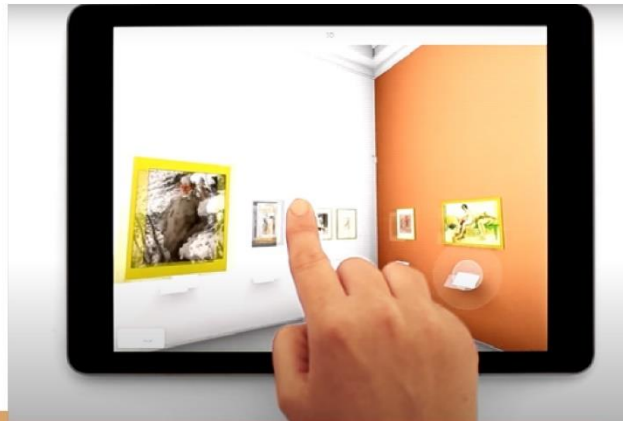
EXHIBITION / VIRTUALE

Exhibition Design with BIMx, Nationalmuseum

Revisited, Sweden, 2016

La mostra virtuale è stata progettata di un studio architettura svedese Shoegnome per Nationalmuseum in Sweden, Revisited.

Una mostre di arte creata nel BIM e esplorata con BIM-X, disponibile in web



/ BIM-X / RICOSTRUZIONE DIGITALE /
/ STORYTELLING / VR / TOUR VIRTUALE

PARTE II.

Simulazione avanzata di spazi museali interattivi.

Questo capitolo descrive una metodologia applicata alla rappresentazione di ambienti museali e, più in generale, al design degli spazi dedicati all'apprendimento e alla cultura. Affronta l'ideazione concettuale e lo sviluppo di una filiera di progettazione e rappresentazione integrata a partire dal *Building Information Modelling* (BIM) e dalle possibilità di scambiare dati grazie all'interoperabilità tra i diversi software di simulazione per rappresentare, comunicare e verificare un allestimento complesso e permettere agli utenti di poter interagire efficacemente con le installazioni.

1. Sistemi di rappresentazione avanzata di ambienti museali interattivi

La procedura di rappresentazione BIM introduce si basa sull'elaborazione di un unico modello virtuale che ricostruisce l'analoga digitale dell'ambiente museale; per poterne valutare la sua natura esperienziale ed interattiva deve includere gli elementi parametrici, documentali e conoscitivi necessari a sviluppare un ambiente progettuale verificabile, anche per la parte tecnico-economica.

Nel settore delle costruzioni e del design la gestione di processi complessi, caratterizzati da un'elevata quantità di informazioni coinvolge differenti figure professionali. Tali processi sono in molti casi frammentari, convenzionalmente basati su documenti cartacei o digitali non strutturati, con il conseguente pericolo di omissioni, incoerenze od errori⁵⁸. La pratica professionale, inoltre, non favorisce la collaborazione e la comunicazione e fa sì che la fase di progettazione sia contraddistinta da una ridondanza di informazioni e dalla dispersione dei dati tra i diversi attori del processo. I problemi legati a questa progettazione di tipo tradizionale rendono i processi poco efficaci, caratterizzati da inefficienze, imprevisti, ritardi e da un conseguente incremento dei costi.⁵⁹

Emerge la necessità di adottare procedure efficienti nell'ambito del patrimonio architettonico ottimizzando la filiera della rappresentazione a partire dal modello digitale e garantendo la sua funzionalità nelle diverse fasi progettuali.

Il *Building Information Model* propone una inequivocabile rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un manufatto, anche come un bene architettonico introducendo l'ambito applicativo dell'H-BIM⁶⁰. Tale rappresentazione è costituita da oggetti digitali corrispondenti alle componenti del mondo reale come muri, porte e finestre con associate relazioni, attributi e proprietà⁶¹. Un sistema a "maggiore intelligenza" rispetto al tradizionale CAD per il quale è necessaria la definizione di procedure e standard operativi.

Il BIM è oggi il sistema di progettazione integrata più utilizzato nel mondo delle costruzioni, estendendo il suo ambito operativo al design ambientale e di interni.⁶² La metodologia BIM apporta numerosi benefici allo sviluppo di un

⁵⁸ Tata, A. Tesi di Dottorato "Procedure per la modellazione HBIM del patrimonio architettonico", Università degli Studi dell'Aquila, XXXIV Ciclo, Tutor: Prof. Stefano Brusaporci.

⁵⁹ Zacchei, V. (2010). *Building information modeling. Nuove tecnologie per l'evoluzione della progettazione*. Ariccia: Aracne, p. 89.

⁶⁰ Brusaporci, S., Maiezza, P., Tata, A. (2018). A framework for architectural heritage HBIM semantization and development. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2, 179--184

⁶¹ Osello, A. (2021). *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, 2021, p. 35.

⁶² Dore, C., & Murphy, M. (2015). Historic Building Information Modeling (HBIM). In S. Brusaporci (Ed.), *Handbook of research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation* (pp. 233-273). IGI Global.

Dore, C., & Murphy M. (2017). Current state of the art historic building information Modeling. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W5, 185–192.

progetto e, come descritto in dettaglio dal report della Coventry University “*BIM Implementation Strategies in Higher Education*”, i sistemi di rappresentazione condivisa incrementano la collaborazione multidisciplinare tra i diversi settori applicativi attraverso l’uso della modellazione informativa creando consapevolezza sulla catena di valore progettuale e sui fabbisogni del mondo produttivo⁶³. Il *Building Information Modeling*, inteso come sistema di rappresentazione avanzata e assistenza progettuale, offre una serie di benefici per progettare gli ambienti interni soprattutto nella visualizzazione e verifica di progetti complessi durante le diverse fasi progettuali. Negli ultimi anni le diverse applicazioni svolte in progetti di ricerca e attività di laboratorio hanno confermato che il processo di digitalizzazione, se orientato correttamente all’apprendimento e alla sperimentazione operativa, consente una notevole efficienza nel settore dell’*interior design*.

In questo capitolo si presenta una metodologia applicata alla rappresentazione di ambienti museali e, più in generale, orientata al design delle infrastrutture per l’apprendimento e la cultura. A partire da applicazioni di uso in ambiente tecnico (CAD, BIM) e della simulazione avanzata (*Game Engine*) si descrive l’ideazione concettuale e lo sviluppo di un protocollo di progettazione e rappresentazione integrato a partire dal modello elaborato in ambiente *Building Information Modelling* (BIM) e si sviluppa con la possibilità di scambiare dati grazie all’interoperabilità tra i diversi software per rappresentare, comunicare, verificare e fare esperienza di un allestimento complesso.

Scrive Anna Osello “poiché i tradizionali approcci di condivisione delle informazioni di progetto attraverso lo scambio di file nei formati come .dxf, .dwf, .dwg e .pdf non trasferiscono adeguati livelli di intelligenza degli oggetti da un modello ad un altro, occorre perseguire nuovi approcci finalizzati ad uno scambio di dati più intelligente, necessariamente con l’impiego di nuovi formati”⁶⁴ ma anche procedure che possa gestire il passaggio dalla progettazione tradizionale a quella digitale, laddove CAD, BIM e sistemi digitali interoperabili possono creare opportunità significative.

Il passaggio dall’utilizzo della modellazione tradizionale basata sul disegno (DM) al BIM costituisce una nuova metodologia piuttosto che la semplice introduzione di un nuovo strumento. Il BIM è già diventato di uso comune. Ma c’è un numero limitato di pubblicazioni che affrontano come questo sviluppo critico può essere utilizzato efficacemente nell’istruzione superiore.⁶⁵

Joblot, L., Paviot, T., Deneux, D., & Lamouri, S. (2017). Literature review of Building Information Modeling (BIM) intended for the purpose of renovation projects. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 10518–10525.

López, F. J.; Lerones, P. M.; Llamas, J., Gómez-García-Bermejo, J., & Zalama, E. (2018). A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). *Multimodal Technologies and Interaction*, 2, 21.

⁶³ Mcgough, D. & Ahmed, A. & Austin, S. (2013). Integration of BIM in higher education: case study of the adoption of BIM into Coventry University's Department of Civil Engineering, Architecture and Building. 10.13140/2.1.1240.8642.

⁶⁴ Anna Osello, *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, 2021, p. 41.

⁶⁵ Ming, H (2018). BIM-Enabled Pedagogy Approach: Using BIM as an Instructional Tool in

La digitalizzazione nel settore della progettazione iniziò nel lontano 1963 quando Ivan Sutherland, del MIT di Boston, presentò lo *Sketchpad CAD*,⁶⁶ antenato rivoluzionario dei moderni programmi di progettazione assistita dal computer (CAD). *Sketchpad* fu in assoluto il primo programma ad utilizzare un'interfaccia grafica a beneficio dell'utente che, organizzando i dati geometrici, ha introdotto la successiva programmazione *object-oriented*. L'idea innovativa era quella di avere disegni principali, definiti come elaborati *master*, che potessero essere "istanziati" in maniera multipla creando così molti duplicati tematizzati rispetto alle diverse applicazioni. In un sistema informatico, ogni volta che viene creato un nuovo contesto basato su un modello, si dice che il modello è stato istanziato. In pratica, questa istanza di solito ha una struttura dati in comune con altre istanze, ma i valori archiviati nelle istanze sono separati⁶⁷. Pertanto, l'intuizione di Sutherland, che influenzò il successivo sviluppo dell'informatica grafica, assegnava all'utente la possibilità di modificare ed interagire con gli oggetti, anche vincolandoli geometricamente; ad esempio, vincolando la lunghezza di una linea o l'angolo tra due linee potevano essere fissati parametri geometrici significativi. Tale innovazione ha aperto la strada alla successiva interazione tra uomo-computer (HCI)⁶⁸, oggi una disciplina di valore per ogni azione progettuale. L'interfaccia utente grafica (GUI), oggi di uso comune, deriva proprio dalla soluzione originale introdotta da *Sketchpad* e dalla modalità di programmazione orientata agli oggetti. Grazie alle sperimentazioni di Sutherland la computer grafica è divenuto un universo applicativo ampio sia per le realizzazioni creative e artistiche che per la documentazione di problematiche tecniche complesse creando una nuova esperienza di interazione uomo-computer.

Oggi giorno parlare di disegno digitale progettuale vuole dire fare riferimento ai sistemi BIM che hanno integrato sin dalla loro introduzione la generazione di software di progettazione assistita CAD. Il termine è stato introdotto per la prima volta nel 1974 in un paper visionario scritto da Charles M. Eastman, "*The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design*", nel quale si descriveva un prototipo funzionante di sistema di descrizione degli edifici, chiamato "*BDS-Building Description System*": questo primo prototipo includeva sia concepts e visualizzazioni per piani a partire da un modello che possibilità di disegno parametrico. L'abstract chiarisce perfettamente quale innovazione modificherà definitivamente il modo di pensare, progettare e disegnare di milioni di designers: "*Many of the costs of design, construction, and building operation derive from the reliance on drawings: as the description of record of the building. As a replacement, this paper outlines the design of a computer system useful for storing and manipulating design information at a detail allowing design, construction, and operational analysis. A*

Technology Courses. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice. 145. 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000398.

⁶⁶ Llach, D. C. (2018). Reconstructing "Sketchpad" and the "Coons Patch": Toward an Archaeology of CAD. *Leonardo*, 51(4), 429-430.

⁶⁷ Sutherland, I. E. (1964). Sketchpad a man-machine graphical communication system. *Simulation*, 2(5), R-3.

⁶⁸ Sears, Andrew; Jacko, Julie A. (2007). *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*, Second Edition. CRC Press. p. 5.

*building is considered as the spatial composition of a set of parts. The system, called Building Description System (BDS) has the following associated with it: (1) a means for easy graphic entering of arbitrarily complex element shapes; (2) an interactive graphic language for editing and composing element arrangements; (3) hardcopy graphic capabilities that can produce perspective or orthographic drawings of high quality; and (4) a sort and format capability allowing sorting of the data base by attributes, for example, material type, supplier, or composing a data set for analysis.”*⁶⁹

Successivamente, dopo un lungo processo di ottimizzazione e unificazione, a partire dal 2002 si è consolidata la dizione convenzionale di *Building Information Modeling* che, secondo la definizione introdotta quasi vent’anni dopo dalla norma UNI EN ISO 19650-1: 2020 (Organization and digitization of information about building and civil engineering works. Including Building Information Modeling (BIM) – Information Management using Building Information Modelling – Part 1: Concept and principles), lo definisce come: “*The use of shared digital representation of a built asset (including buildings, bridges, roads, process plants, etc.) to facilitate design, construction and operation processes to form a reliable basis for decisions*”. È significativo come la norma faccia esplicito riferimento a “rappresentazioni digitali condivise” per informare il processo progettuale nelle sue diverse articolazioni e sostenere efficacemente la catena decisionale che fa sì che un’opera sia realizzata correttamente.

In letteratura scientifica sono meno frequenti gli studi sull’utilizzo del BIM per la gestione integrata degli edifici che ospitano collezioni museali; rare le ricerche su una gestione integrata, tramite il BIM, sia degli ambienti che degli allestimenti. Bhowmik (2015), ad esempio, ha proposto un sistema integrato con modelli 3D per creare un ecosistema digitale museale condiviso e collaborativo. Su questo fronte di ricerca hanno lavorato i ricercatori che propongono la creazione di modelli 3D semanticamente arricchiti (denominati Collection Information Models - CIM) menzionando l’opportunità di operare sulla relazione tra museo (contenitore) e oggetti (contenuti) all’interno dell’ambiente BIM⁷⁰. Per il Museo Archeologico delle Marche è stata presentata la modellazione H-BIM di Palazzo Ferretti ad Ancona, che ospita il museo, inserendo oggetti BIM tramite volumi semplificati (cilindri) per rappresentare i diversi reperti archeologici a cui è stato collegato ad un database esterno di catalogazione, anche con modelli 3D⁷¹.

Una specifica applicazione è stata presentata per la nave HMS Victory conservata presso il Museo Nazionale della Royal Navy a Portsmouth, una

⁶⁹ Eastman, C., Fisher, D., Lafue, G., Lividini, J., Stoker, D., Yessios, C. (1974). An Outline of the Building Description System, Institute of Physical Planning, Research Report (No. 50 September, 1974)

⁷⁰ Lo Turco, M., Calvano, M., & Giovannini, E. C. (2019). Data Modeling for museum collections. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W9, 433–440.

Lo Turco, M., & Calvano, M. (2019). Digital Museums, Digitized Museums. In A. Luigini (Ed), Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage. EARTH 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol 919. Cham: Springer.

⁷¹ Moreira, A., Quattrini, R., Maggiolo, G., & Mammoli, R. (2018). HBIM methodology as a bridge between Italy and Argentina. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2, 715–722.

sorta di “casa museo” dove gli oggetti sono significanti e utilizzati per guidare il visitatore.⁷² In questo caso modellazione 3D ha riguardato ogni componente significativo, associandola alle informazioni fisiche e storiche per indirizzare il piano di conservazione e di gestione della nave.⁷³

La digitalizzazione degli oggetti museali è invece un ambito disciplinare maggiormente definito e si orienta alla produzione di contenuti, animazioni e grafiche come modelli interattivi per il web o per musei virtuali, che mostrano rappresentazioni digitali delle collezioni museali associate ad ogni tipo di informazione. I contenuti digitali sono spesso il risultato di un progetto di acquisizione, modellazione e rappresentazione orientata al prodotto multimediale finale. In questo ambito, tra le applicazioni disponibili in letteratura⁷⁴, è stato utilizzato, ad esempio, uno strumento BIM (Autodesk Revit) per modellare in forma parametrica le singole parti di reperti di un museo etnografico per classificare oggetti appartenenti alla stessa categoria.

Un caso di studio interessante, realizzato per l'Archivio Storico-Museo Hydra (Hydra, GR) nell'ambito del progetto INCEPTION, ha visto sia la digitalizzazione dell'edificio per la creazione di un modello H-BIM, che delle collezioni per la successiva fruizione con strumenti AR/VR, ma non l'uso combinato delle due parti⁷⁵.

Nel settore museale l'introduzione di sistemi di rappresentazione e progettazione BIM può essere suddivisa in tre categorie:

(a) Musei di nuova realizzazione progettati con il BIM: si tratta di nuovi interventi progettuali di elevato livello di complessità per i quali le procedure non divergono da quelle adottate per le costruzioni ingegneristiche e architettoniche. Si possono citare il *Grand Egyptian Museum di Giza* (Heneghan Peng Architects) e il nuovo *Museum of the Future di Dubai* (Killa Design), un progetto dalla forma particolarmente futuristica e toroidale, interamente gestita in tre dimensioni, dalla concettualizzazione alla gestione della costruzione.⁷⁶

(b) Modelli HBIM per musei ubicati in siti archeologici/edifici storici: in questo caso la tassonomia integra tutte le specificità (e criticità) tipiche di un approccio HBIM, dalle operazioni di rilievo (nuvole di punti e, in generale, una quantità notevole di dati) alla modellazione di elementi caratterizzati da un elevato

⁷² Atkinson, D., Campbell-Bell, D., & Lobb, M. (2019). The Conservation and Management of Historic Vessels and the Utilization of 3D Data for Information Modelling. 3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology.

⁷³ In questo caso, l'impossibilità di utilizzare strumenti BIM standardizzati ha portato alla scelta di utilizzare il software *Rhinoceros* come strumento di modellazione e *Microsoft Access* per la gestione del database, con attenzione al salvataggio dei dati in formati opensource e non proprietari in vista dello sviluppo futuro della tecnologia BIM.

⁷⁴ Parrinello, S., & Dell'Amico, A. (2019). Experience of Documentation for the Accessibility of Widespread Cultural Heritage. *Heritage*, 2(1), 1032–1044.

⁷⁵ Karadimas, D., Somakos, L., Bakalbasis, D., Prassas, A., Adamopoulou, K., & Karadimas, G. (2018). Current and potential applications of AR/VR technologies in cultural heritage. “INCEPTION Virtual Museum HAMH: A use case on BIM and AR/VR Modeling for the Historical Archive Museum of Hydra Greece”. In *International Conference on Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage* (pp. 372–381). Cham: Springer.

⁷⁶ Chiabrando, F.; Turco, M.L.; Santagati, C. Digital invasions: From point clouds to historical building object modeling (H-BIM) of a UNESCO world site. *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2017, XLII-2/W3, 171–178.

grado di complessità e da un basso livello di standardizzazione.⁷⁷

Una ricerca del Dipartimento di Architettura dell'Università di Roma La Sapienza ha avviato la digitalizzazione della Galleria Borghese. Le nuvole di punti da laser-scanner delle superfici marmoree acquisite costituiranno la base per la costruzione di un modello BIM ai fini del piano di *Facility Management* e il monitoraggio dei componenti MEP, l'analisi del livello di sicurezza dell'ambiente interno e, di conseguenza, la verifica delle condizioni ambientali a cui sono sottoposte le opere esposte⁷⁸.

Una applicazione nel settore museale e della gestione del patrimonio riguarda il Parco Archeologico di Pompei; è un caso di *scan-to-BIM* per trasformare il rilievo tramite laser scanner della Domus di Arianna in un database interrogabile per pianificare strategicamente gli interventi di manutenzione. L'obiettivo finale è progettare un sistema di monitoraggio che fornisca e confronti i dati sullo stato dell'edificio, integrandoli con quelli rilevati in tempo reale dai sensori.⁷⁹

(c) Modellazione integrata ambiente-collezioni: quest'ultima tassonomia si riferisce alle esperienze più interessanti ed avanzate di digitalizzazione degli ambienti museali che integrano gli artefatti digitalizzati del museo. Si propone un sistema informativo museale, denominato M-BIM, collegato a database esterni che includono dati sulle collezioni d'arte per la gestione delle informazioni relative sia all'edificio museale che alle opere esposte mediante la gestione interattiva di oggetti 3D. Rispetto ad altre attività di natura gestionale il rapporto contenitore/contenuto è essenziale per la conservazione preventiva delle opere d'arte, secondo le linee guida nazionali ed internazionali. Un caso di studio è quello proposto per la Galleria dell'Accademia di Firenze⁸⁰ con lo scopo di creare un "sistema informativo museale" basato su un software BIM collegato a database esterni per gestire le informazioni relative sia agli ambienti museali che alle collezioni integrando anche la gestione di oggetti 3D. La ricerca prevede anche la digitalizzazione di una parte delle collezioni per una gestione trasversale delle informazioni relative all'edificio e alle opere dal punto di vista grafico e informativo. Questo approccio semplifica la gestione delle procedure previste dalle *best practice* internazionali (come il *Facility Report* e il *Condition Report* per il prestito di opere d'arte) e la verifica della conformità di un museo agli standard minimi.

L'introduzione di tali sistemi evidenzia, di conseguenza, alcune problematiche: i sistemi museali sono notevolmente eterogenei, soprattutto in riferimento alla tipologia delle collezioni, molti dati archivistici non sono ancora digitalizzati,

⁷⁷ Fryskowska, A.; Stachelek, J. A no-reference method of geometric content quality analysis of 3D models generated from laser scanning point clouds for H-BIM. *J. Cult. Herit.* 2018, 34, 95–108.

⁷⁸ Available online: <https://livemuseum.it/blog/2021/06/19/il-modello-bim-della-galleria-borghese/> (accesso 21 Ottobre 2022).

⁷⁹ Il progetto è realizzato dal Parco Archeologico di Pompei insieme all'Università Federico II di Napoli, al Politecnico di Milano e all'Istituto di Scienze dei Beni Culturali del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche).

⁸⁰ Tucci, G., Conti, A., Fiorini, L., Corongiu, M., Valdambrini, N., & Matta, C. (2019). *M-BIM: a new tool for the Galleria dell'Accademia di Firenze*. *Virtual Archaeology Review*, 10 (21), 40-55.

o le parti interessate li archiviano in diversi modi. Inoltre, l'utilizzo di ambienti appartenenti ad edifici storici non facilita le procedure, difficilmente automatizzabili, anche se in letteratura si parla di H-BIM e *scan-to-BIM* già da molti anni non esistono linee guida o riferimenti istituzionali. Sarebbe necessario quindi seguire un percorso di standardizzazione e regole comuni.

Un altro fattore riguarda la gestione delle repliche digitali delle opere d'arte, nel caso siano statue o manufatti geometricamente complessi, dato che ciò influenza l'operatività in ambiente BIM rendendo il modello utilizzabile solo con un'architettura hardware/software avanzata. È questo uno dei nodi trattati in questa tesi, verificare l'utilizzo dei sistemi BIM limitatamente a pochi ambienti ovvero poterli estendere all'intero complesso museale anche nel caso si tratti di grandi musei. Potrebbero esserci varie soluzioni per risolvere questo punto, ad esempio utilizzando altri strumenti di gestione dei modelli BIM o utilizzando rappresentazioni più simboliche delle opere tradotte in 3D. In un futuro, già vicino, l'intelligenza artificiale consentirà di ottimizzare la visualizzazione di modelli complessi in ambienti di modellazione e di simulazione, tramite segmentazione del modello o per sostituzione progressiva con alias semplificati in base al movimento dell'utente.

Un'altra questione riguarda le procedure di condivisione e pubblicazione dei modelli BIM e delle repliche tattili oggi riproducibili rapidamente con la stampa 3D. La realizzazione di programmi di training e co-design con il personale museale e i curatori può fornire quelle skills trasversali oggi mancanti a chi è abituato a sistemi di gestione tradizionali. In mancanza di esperienza con gli strumenti digitali potrebbero essere avviati programmi di formazione attraverso MOOC per conoscere gli strumenti di realtà virtuale ma anche utilizzare teatri virtuali per interagire con gli oggetti 3D all'interno di ambienti immersivi.

Un'altra applicazione rilevante riguarda le mostre temporanee al National museum di Stoccolma dove il modello BIM supporta curatori e conservatori nella valutazione critica di diversi scenari di allestimento museale. Ulteriori ricerche in questa direzione sono state condotte nell'ambito del progetto europeo SensMat⁸¹. I primi risultati hanno visto la costruzione di modelli BIM museali e l'implementazione di sensori IoT per il monitoraggio delle collezioni⁸². Un'altra ricerca introduce una nuova metodologia operativa che mira a implementare modelli H-BIM attraverso l'utilizzo di tecniche di Intelligenza Artificiale.⁸³ Si concepisce la fabbrica come organismo vivente nell'ambito della metodologia H-BIM denominata HS-BIM da *Historical Sentient-Building Information Model*. Questa proposta è stata elaborata per la villa Zingali Tetto (Catania, 1930), sede del Museo della Rappresentazione (MuRa).

⁸¹ <https://www.sensmat.eu/>

⁸² Pepe, M.; Zinno, A.; Napolano, M.C.; Mariani, M.; Perotto, S.; Grieco, D.; Rossi, M.; Giannone, G.; Kohler, T.; Eipper, P.-B.; et al. HBIM tool for preventive conservation of sensitive cultural heritage in museums: The SensMat approach. In Proceedings of the Conference CIB W78, Luxemburg, 11–15 October 2021; p. 669–682.

⁸³ La Russa, F.M.; Santagati, C. From the Cognitive to the Sentient Building. Machine Learning for the preservation of museum collections in historical architecture. In Proceedings of the 38th eCAADe Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, Berlin, Germany, 16–17 September 2020; p. 507–516.

Le applicazioni H-BIM evidenziano quindi un nuovo approccio per la documentazione, la progettazione, la gestione integrata e tutte quelle funzioni che poi convergono nella strategia di accessibilità al patrimonio delle collezioni e agli ambienti.

Prima di affrontare le possibili connessioni tra gli ambienti museali e le collezioni, è opportuno descrivere sinteticamente alcune tassonomie legate alla modellazione digitale di manufatti complessi appartenenti al campo dei Beni Culturali. Secondo la tipologia H-BIM, è essenziale dichiarare le finalità e il flusso di lavoro adottato per rendere il processo di modellazione infografica implementabile e riutilizzabile, definendo i vantaggi e i limiti in relazione agli sforzi necessari e all'utilizzo previsto del modello. A questo proposito, descriviamo gli scenari pratici disponibili, non escludendo soluzioni miste che forniscono ibridazione calibrata⁸⁴.

Lo Turco, Giovannini e Tomalini presentano 3 categorie:

(a) Modello globale vs. locale: la necessità di modellare l'intero artefatto rispetto ad altri flussi di lavoro che implicano la digitalizzazione di librerie semantiche ad hoc.

(b) Approccio parametrico vs. non parametrico: i componenti dell'edificio possono essere modellati utilizzando componenti nativi, identificando varianti e invarianti e definendo progressivamente oggetti virtuali attraverso ripetuti processi di nidificazione per ottenere oggetti parametrici, definiti geometricamente. Ciò consente di affermare che gli elementi del modello sono oggetti parametrici, geometricamente modificabili e riutilizzabili. Una procedura diversa può essere utilizzata per modellare componenti non convenzionali, come quelli non direttamente correlati a una specifica categoria di modello (ad esempio, i sistemi a volta). In questi casi è possibile utilizzare processi interoperabili tra modellatori matematici e piattaforme algoritmiche per una rappresentazione geometrica degli elementi molto affidabile, talvolta a scapito di una gestione più rigida dell'apparato informativo associato agli elementi nativi disponibili in ambiente BIM, come descritto nella seguente tassonomia.

(c) Modellazione geometrica vs. modellazione dell'informazione: in base agli obiettivi del processo di modellazione digitale, è necessario considerare la definizione dei contenuti geometrici (LoG—Level of Geometry) e degli attributi informativi (LoI—Level of Information), che sono utili per una descrizione più esaustiva del manufatto per le successive fasi di progettazione e/o manutenzione del bene, come previsto dalla normativa vigente.

In questa ricerca si propone un metodo per estendere le potenzialità operative del BIM, esclusivamente orientato alla digitalizzazione informata dell'edificio-contenitore-sito museale, progettando le librerie di tutti i componenti dell'allestimento museale e rappresentandoli in modalità interattiva tramite la programmazione visuale. In un approccio H-BIM innovativo è opportuno mettere in relazione l'apparato informativo in esso contenuto con i dati associati alle collezioni museali (contenuti) quando opportunamente

⁸⁴ Lo Turco, M.; Giovannini, E.C.; Tomalini, A. Parametric and Visual Programming BIM Applied to Museums, Linking Container and Content. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2022, 11, 411.

digitalizzati e informati. La possibile correlazione tra questi due macro-elementi, attuata attraverso approcci interoperabili che prevedono anche l'adozione di sistemi di *Visual Programming*, può contribuire alla gestione efficace di un gemello digitale utilizzabile per scopi diversi. Diffusione e condivisione con il pubblico, valutazione di possibili allestimenti museali temporanei, e possibilità di prefigurare possibili flussi di persone, nel tentativo di ottimizzare i percorsi in tutta sicurezza, sono gli aspetti principali analizzati da questi innovativi flussi di lavoro nati dall'interpolazione di queste metodologie⁸⁵.

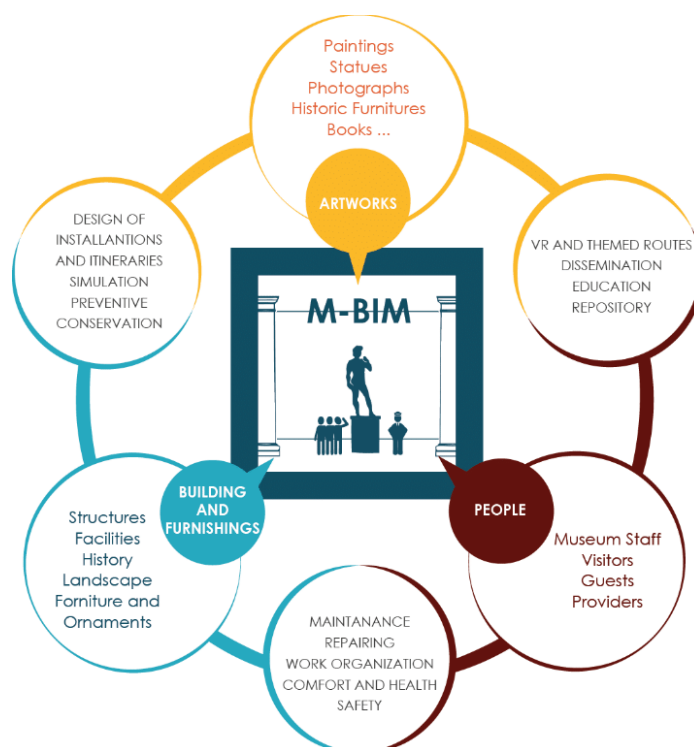


Figura 6 Il processo di rappresentazione tramite BIM museale (Fonte: Tucci, 2019)

⁸⁵ Lo Turco, M.; Giovannini, E.C.; Tomalini, A. Parametric and Visual Programming BIM Applied to Museums, Linking Container and Content. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2022, 11, 411.

2. Rappresentazione BIM del Popular Traditions Museum di Amman

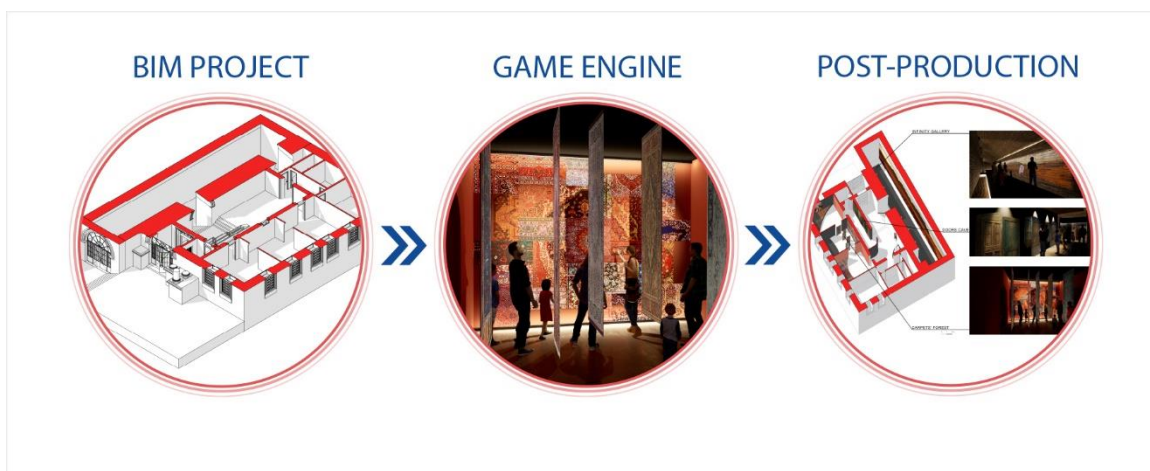


Figura 7 Il processo di rappresentazione e allestimento di interni in ambiente progettuale BIM

(Fonte: Mironenko, 2023)

Il BIM introduce una metodologia di rappresentazione del modello che include sia il progetto costruttivo che tutte le informazioni tecniche e tecnologiche associate alle fasi operative. Rispetto all'ambiente CAD convenzionale, la differenza non consiste semplicemente nel modellare parametricamente, ma in un modo innovativo di disegnare, progettare e rappresentare sfruttando le tre componenti principali del BIM: l'organizzazione del modello, gli strumenti operativi di visualizzazione e la gestione degli elaborati finali. I BIM consentono di progettare disegnando gli elementi parametrici dell'edificio (muri, strutture portanti, finestre, porte, ecc.), rendendo più efficace la sessione operativa, consentendo di risparmiare tempo e costi, riducendo gli errori e gestendo rappresentazioni di progetto complesse; inoltre, il vantaggio nella fase ideativa e di prima stesura del *concept* sta anche nella possibilità di fissare e gestire le librerie degli elementi strutturali, degli arredi, delle installazioni tecnologiche e impiantistiche come l'illuminazione.

Il vantaggio della rappresentazione grafica basata su un modello 3D è la presenza contemporanea di disegni e visualizzazioni tecniche, rendering e possibilità di fruizione interattiva, che permettono una visualizzazione immediata delle componenti progettuali, velocizzando il processo creativo e migliorando la comprensione delle caratteristiche ambientali. È questo un elemento sostanziale poiché richiede competenze legate alla percezione visiva, e alla capacità di comprendere logicamente le forme spaziali che spesso sono difficili da maturare nel breve termine ed in fase di apprendimento scolastico. Inoltre, tutta la documentazione tecnica riferita a prestazioni, materiali, specifiche tecniche e costi, trovano finalmente spazio all'interno di un unico modello virtuale, un database grafico condiviso che si indirizza a tutti gli operatori partecipanti al progetto. Chi si occupa di progettazione integrata ha la possibilità anche di creare oggetti e sistemi costruttivi personalizzati

mettendoli poi a disposizione su una piattaforma collaborativa. Autodesk ha definito i sistemi BIM come un processo che coinvolge la creazione e l'utilizzo di un modello 3D intelligente, per informare e comunicare le decisioni sul progetto. La progettazione, la visualizzazione, la simulazione e le modalità di interazione e collaborazione possibili offrono maggiore consapevolezza a tutte le parti interessate durante il ciclo di vita del progetto. Ad oggi, l'unico mezzo pratico per comunicare le informazioni necessarie per la costruzione degli edifici sono i disegni: i disegni sono anche il mezzo principale per comunicare con tutte le altre parti coinvolte in un progetto di costruzione. La necessità di disegni deriva dalle informazioni spaziali che devono essere trasmesse. Naturalmente ai disegni si aggiungono appunti e specifiche scritte. Il BIM non solo come assiste i progettisti nella modellazione del progetto, ma aiuta tutti i partecipanti al progetto a risolvere problemi di comunicazione, definizione dei costi, scelta dei materiali, gestione del tempo, prestazioni energetiche e gestione della manutenzione.

Bisogna, tuttavia, registrare diverse criticità nell'uso delle metodologie di rappresentazione e progettazione tramite il BIM che richiedono capacità specifiche: ad esempio rispetto al disegno convenzionale CAD, di prassi maggiormente simbolico e astratto, nel caso del BIM si richiede una maggiore conoscenza delle soluzioni tecnologiche per caratterizzare correttamente il modello nonché una maggiore consapevolezza sulle fasi operative e gestionale successive. In questo caso l'impatto dell'uso del BIM, già dal periodo di formazione universitaria, in quanto metodo progettuale applicato si confronta con lo standard tecnologico del settore professionale e industriale e con i diversi fabbisogni di utilizzo. In merito a tale condizione, è comprensibile osservare realtà in cui il BIM risulti essere un metodo maggiormente consolidato e progettualmente funzionale, a cui si affiancano le altre competenze, come quelle della progettazione grafica, della comunicazione e del rilievo dove si colloca nella filiera operativa. La versatilità del BIM e la possibilità di raccogliere informazioni su aree espositive e di lavoro, collezioni, microclima, flussi di visitatori e molti altri aspetti significativi potrebbero ottimizzare le attività museali, migliorare sicurezza, protezione, gestione, economico e sostenibilità ambientale. La digitalizzazione degli oggetti museali è un argomento ben noto, soprattutto per la realizzazione di modelli per il web o musei virtuali, visualizzazione digitale rappresentazioni di collezioni museali associate tutti i tipi di informazioni. Il contenuto digitale è spesso il risultato di un progetto di modellazione ad hoc⁸⁶. La proposta si rivolge alla definizione di un sistema museale per la digitalizzazione delle caratteristiche fisiche degli ambienti e delle collezioni; in tale modello multi scalare si possono includere anche i cataloghi di oggetti provenienti da procedure di acquisizione 3D.

⁸⁶ Tucci, G., Conti, A., Fiorini L., Corongiu, M., Valdambrini, N., Matta, C. (2019). M-BIM: A new tool for the Galleria dell'Accademia di Firenze. *Virtual Archaeology Review*, 10(21): 40-55, 2019.

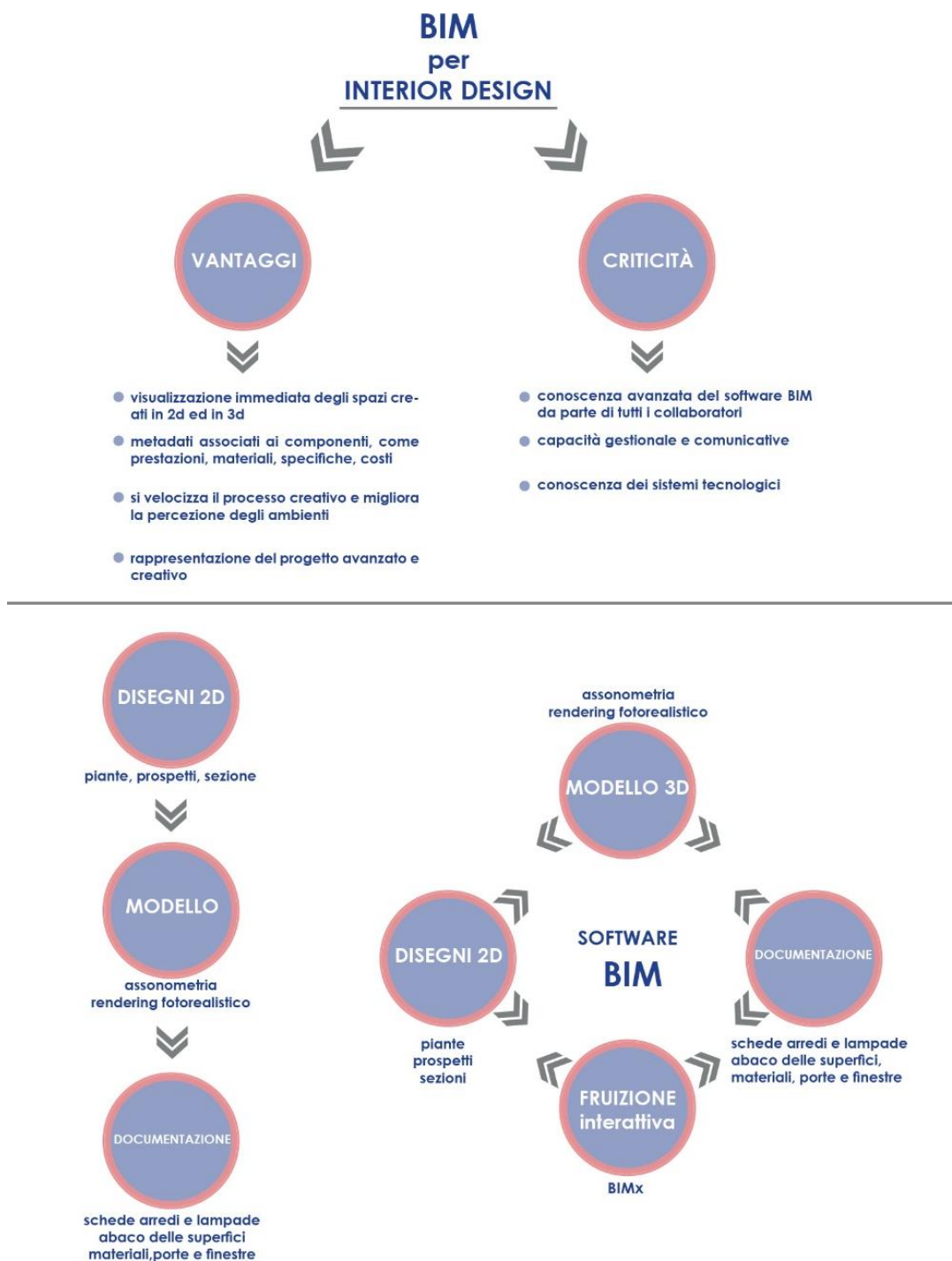


Figura 8 Metodo di lavoro in ambiente BIM per l'interior design (Fonte: Mironenko, 2023)

Si introduce una metodologia di rappresentazione del modello che include sia il progetto costruttivo che tutte le informazioni tecniche e tecnologiche associate alle fasi progettuali. Nel caso di studio si propone la rappresentazione avanzata del Popular Traditions Museum di Amman presso il sito archeologico del Teatro Romano di Amman⁸⁷.

⁸⁷ <https://universes.art/en/art-destinations/jordan/amman/museums/museum-popular-traditions>

Nella configurazione di un sistema spaziale complesso si fa riferimento alle principali scelte di allestimento, declinate per i diversi livelli progettuali e organizzate per librerie parametriche grazie agli strumenti BIM. Dallo spazio architettonico con il suo tono (colori, materiali e textures), ai singoli elementi di arredamento e allestimento tecnologico, la *moodboard* ambientale sintetizza, visualizza e verifica il concept di *interior design*; rappresenta la caratteristica visiva che rispecchia il mood degli interni e quindi è un passaggio cruciale nello sviluppo del progetto. Rispetto al processo convenzionale CAD, il BIM consente di disegnare gli elementi parametrici principali dell'edificio (muri, strutture portanti, finestre, porte, ecc.), rendendo più efficace la sessione operativa poiché si può sfruttare la libreria di supporto presente nel programma. Inoltre, quei contenuti che solitamente appartengono al catalogo del museo e sono censiti tramite inventario possono diventare parte integrante il modello BIM attraverso librerie delle collezioni da cui estrarre selezioni per allestimenti temporanei. Una ulteriore innovazione è il potenziamento del modello ipertestuale che il software Bim ArchiCAD consente di esportare su applicativi *mobile* o *desktop* per una fruizione allargata.

Progettando le visualizzazioni tecniche del modello e collegando le schede tecniche dei singoli prodotti dell'allestimento il modello diventa esso stesso spazio interattivo museale e transcodifica la dinamica di interazione e di visita aumentandone i livelli informativi e di fruizione.

Le informazioni sugli elementi museali, quali finiture, dimensioni e quantità possono essere visualizzate in maniera ipertestuale così come si può passare dalla visita attraverso le sale alla modalità di visualizzazione dei layout bidimensionali. L'ipermodello permette di navigare in tempo reale nell'allestimento dello spazio espositivo simulando la visita virtuale del modello ed una migliore interazione con gli oggetti parametrici.

La rappresentazione grafica ipertestuale del modello BIM ha il vantaggio di collegare le visualizzazioni tecniche con la fruizione interattiva che permette la visualizzazione immediata delle componenti progettuali, velocizzando il processo creativo e migliorando la comprensione delle caratteristiche ambientali. È questo un elemento sostanziale poiché richiede competenze legate alla percezione visiva e alla capacità di comprendere logicamente le forme spaziali che spesso sono difficili da maturare nel breve termine ed in fase di apprendimento scolastico. Inoltre, tutta la documentazione tecnica riferita a prestazioni, materiali, specifiche tecniche, trovano finalmente spazio all'interno di un unico modello virtuale, un database grafico condiviso che si indirizza a tutti gli operatori partecipanti al progetto.

Chi si occupa di progettazione integrata ha la possibilità anche di creare oggetti e sistemi costruttivi personalizzati mettendoli poi a disposizione su una piattaforma collaborativa; il processo concentra le risorse sull'aumento delle caratteristiche informative del modello 3D. Il BIM non solo assiste i progettisti nella modellazione del progetto ma aiuta tutti i partecipanti al progetto a risolvere problemi di comunicazione, offrendo un disegno multi scalare e a più dimensioni. Rispetto al disegno convenzionale CAD, di prassi maggiormente simbolico e astratto, nel caso del BIM si richiede una conoscenza

multidisciplinare delle soluzioni tecnologiche per rappresentare correttamente il modello. In questo caso l'impatto del BIM, in quanto metodo progettuale, si confronta con lo standard tecnologico del settore professionale e industriale e con i diversi fabbisogni di utilizzo. In merito a tale condizione, il BIM permette di operare secondo un metodo maggiormente rigoroso e progettualmente funzionale integrando le altre specializzazioni tecniche, come quelle della progettazione grafica, della comunicazione e del rilievo, che fornisce i dati necessari alla costruzione del modello geometrico base.

Le applicazioni pratiche svolte recentemente mirano a stabilire criteri di processo e soluzioni di rappresentazione per visualizzare e verificare le scelte progettuali con un alto livello di dettaglio. Per raggiungere questo obiettivo e sviluppare le linee guida l'applicazione si rivolge alla progettazione di interni museali. L'obiettivo principale è di verificare, attraverso visualizzazioni e rappresentazioni, il ruolo strategico di uso di tali sistemi grafici avanzati. Sono state simulate e riprodotte la struttura fisica dell'edificio attraverso il sistema di modellazione BIM, l'integrazione di informazioni parametriche di dettaglio (decorazioni, soffitti a cassettoni, archi e paraste, etc.) e le principali caratteristiche delle superfici architettoniche e dei materiali. È un caso di particolare complessità progettuale poiché una parte del museo ingloba strutture originali appartenenti al teatro romano e gli interni sono caratterizzati da una ricca presenza di collezioni museali, oggetti, espositori, installazioni e ambientazioni con manichini.

Per la rappresentazione corretta del modello è necessario stabilire le caratteristiche qualitative e funzionali del fabbricato e degli interni per mantenerne, nella trascrizione digitale ed informativa, gli aspetti più significativi per la successiva valutazione e progettazione esecutiva. Prima di avviare la fase di modellazione è pertanto necessario definire le modalità di utilizzo del modello, cioè stabilire il livello di sviluppo grafico (detto LOD) da applicare ad ogni singolo elemento e componente del modello. Tale decisione e facoltà del disegnatore progettista consente una ottimale definizione del livello di approfondimento delle informazioni (geometriche, grafiche e di attributi), contenute all'interno del modello; ad esempio, definire il livello di dettaglio richiesto per le diverse fasi progettuali serve ad evitare ridondanze o lacune descrittive e garantire che solo le informazioni strettamente necessarie siano incorporate nel modello, onde evitare sprechi di tempo e dei costi. Di norma le informazioni contenute in un modello per la progettazione preliminare sono prevalentemente di tipo geometrico e di numero ridotto, mentre nelle fasi di progettazione definitiva ed esecutiva il contenuto informativo si definisce all'interno del gruppo allargato di progettazione. A beneficio della corretta impostazione del modello, la normativa ISO UNI EN definisce le caratteristiche di ogni singolo LOD in relazione al tipo di elemento considerato. La normativa alla quale si fa riferimento in Italia è la UNI 11337, pubblicata nel 2009 (informazione, interoperabilità e identificazione univoca di un'opera del settore edile), successivamente modificata ed ampliata nel 2017. Essa definisce il LOD come "Livello di Sviluppo degli Oggetti Digitali", il quale viene suddiviso in LOG (Livello di Sviluppo degli Oggetti - attributi

Geometrici) e LOI (Livello di Sviluppo degli Oggetti - attributi Informativi). I 7 livelli progressivi della scala LOD italiana, a differenza di quella statunitense che si esprime in centinaia (dal 100 al 500), sono indicati con le lettere dalla A alla G: LOD A: oggetto simbolico, LOD B: oggetto generico, LOD C: oggetto definito, LOD D: oggetto dettagliato, LOD E: oggetto specifico, LOD F: oggetto eseguito, LOD G: oggetto aggiornato. Gli elementi grafici caratterizzanti il modello BIM devono essere opportunamente definiti stabilendone i parametri di visualizzazione poiché successivamente il modello BIM potrà, ad esempio, anche essere utilizzato per la creazione di un percorso virtuale; quanto maggiore sarà la definizione delle caratteristiche degli spazi e dei dettagli, tanto più coinvolgente e realistica risulterà l'esperienza immersiva nel caso studio modellato ed analizzato. Per questa filiera operativa si è stabilito di assumere il LOD 300 (coincidente con un LOD C/D della normativa italiana) come standard grafico per la modellazione degli ambienti e delle aree che l'utente potrà navigare.

Successivamente all'approvazione del livello LOD adeguato agli scopi progettuali, per creare un progetto dell'allestimento digitale, è necessario eseguire il lavoro in diversi passaggi, dai disegni 2D e 3D alla documentazione. Nello sviluppo del processo si prevede l'integrazione di diversi strumenti digitali per curare anche la fase di comunicazione e documentazione tecnica riferita alle soluzioni costruttive e alle *moodboard* di progetto: abachi di materiali e mobili da cataloghi di aziende che possono poi essere esportati in un foglio elettronico ipertestuale potendo collegare anche le schede ufficiali del singolo prodotto.

Nell'ambiente BIM le fasi di sviluppo del progetto si possono operare contemporaneamente, diminuendo così il carico di lavoro e permettendo di risparmiare su tempi di produzione e costi di realizzazione, oltre a ridurre gli errori dovuti alla generazione progressiva di diversi elaborati. Il software BIM adottato nella applicazione sperimentale è ArchiCAD di Graphisoft che incorpora gli strumenti parametrici per il progetto architettonico (finestre, porte, pavimento, murature, solai e scale ad esempio) i cui parametri possono essere progressivamente modificati. Il vantaggio nella fase ideativa di stesura del concept è dato dalla possibilità di fissare e gestire le librerie degli elementi strutturali, degli arredi, delle finiture e dell'illuminazione che permettono di allestire e definire le principali caratteristiche degli interni. Un'innovazione dei sistemi grafici BIM è, appunto, la possibilità di personalizzare, in modo rapido e creativo, elaborati di rappresentazione grafica elevata, così come diversi tipi di assonometria, sezioni e piante in 3D, planivolumetrico e prospettive, esploso e altri disegni. La rappresentazione grafica diventa più avanzata grazie ad impostazioni già disponibili, valide e interessanti, per esempio le ombreggiature, l'applicazione di colori e materiali sulle piante, prospetti e sezione, retini e penne.

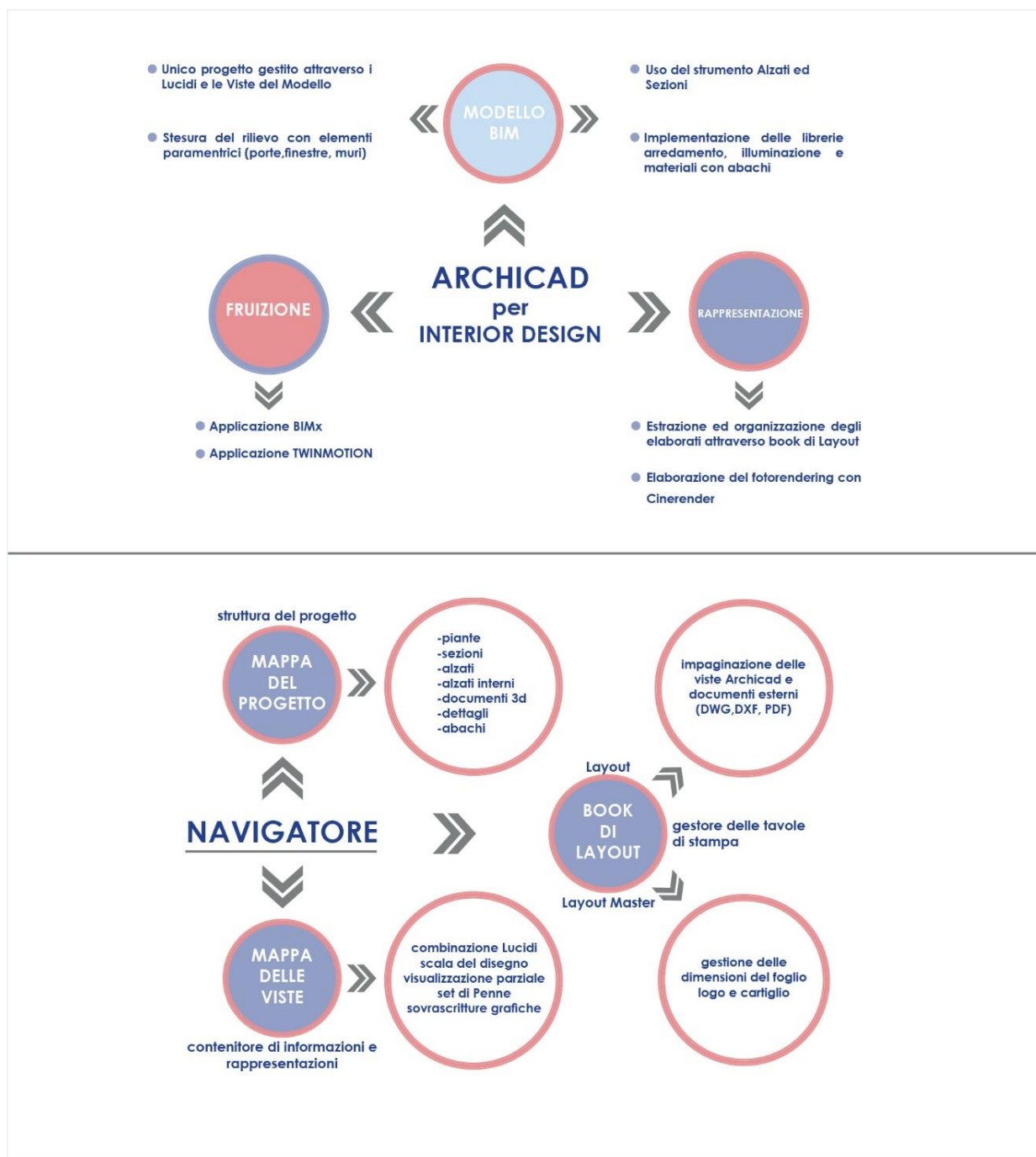


Figura 9 L'ambiente progettuale interattivo del BIM ArchiCAD di Graphisoft (Fonte: Mironenko, 2023)

La *Standard Library* di ArchiCAD integra numerosi elementi parametrici che per esigenze progettuali è possibile arricchire con ulteriori oggetti e textures provenienti da cataloghi online⁸⁸. Inoltre, si possono creare nuovi oggetti di libreria attraverso la registrazione online di modelli tridimensionali o simboli 2D realizzati in ARCHICAD con l'ausilio degli elementi di disegno come, ad esempio, lo strumento Forma o profilo complesso. Un'ulteriore opzione è

⁸⁸ Su queste piattaforme, prevalentemente gratuite, si trovano gli oggetti parametrici nel formato GSM. Si tratta di BIM Components, al quale è possibile accedere direttamente da ArchiCAD; BIM Object, che contiene una vasta scelta di oggetti BIM dai siti dei produttori.

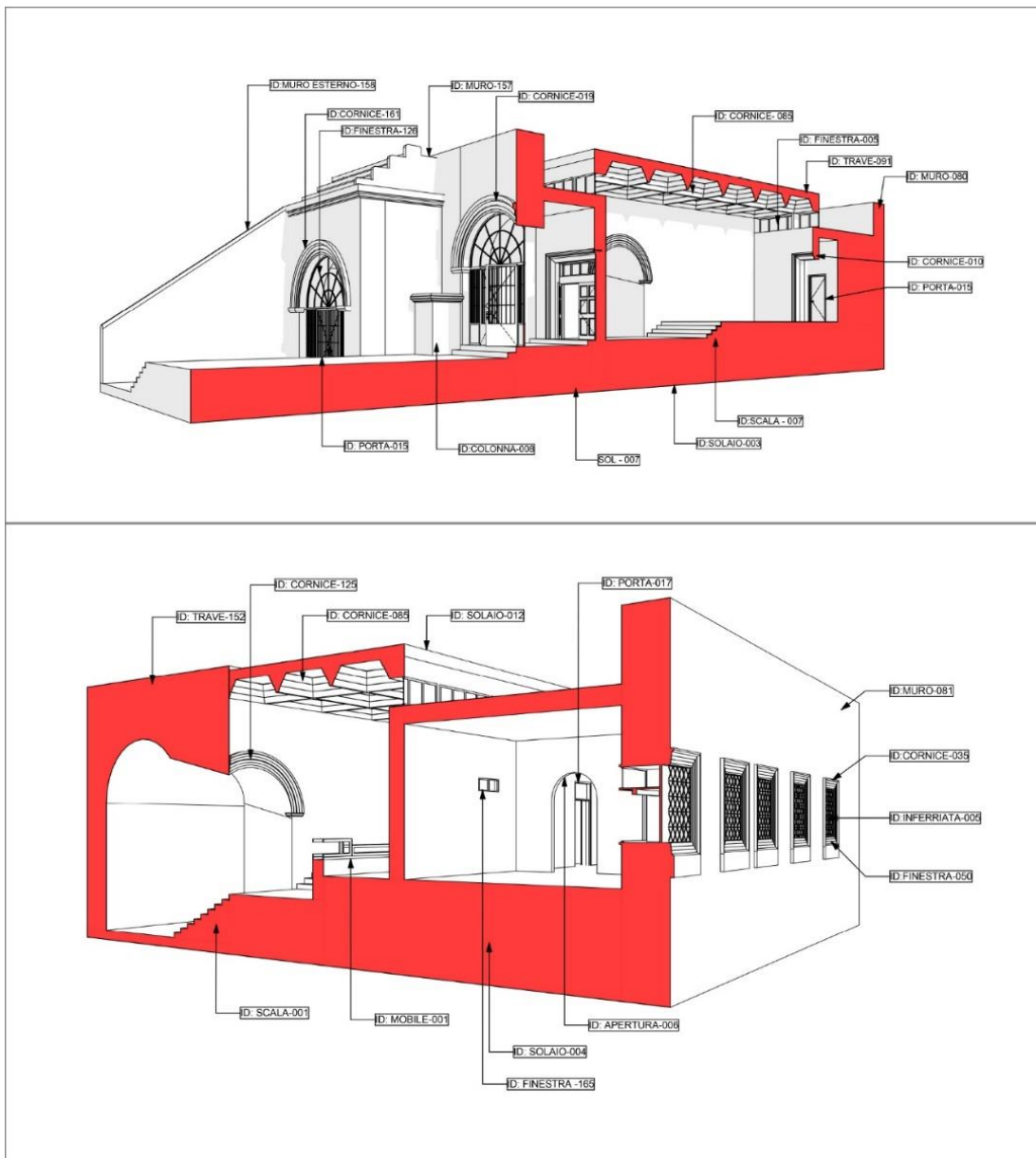


Figura 10 Elaborati architettonici con indicazione degli elementi parametrici principali (Fonte: Mironenko, 2023)

quella di personalizzare gli elementi già presenti nella Libreria Standard di ArchiCAD, utilizzando la registrazione di *Componenti Personali*.

Per creare il modello del museo di Amman, sono stati utilizzati gli strumenti parametrici, come muri, solaio, porte, ecc., descrivendoli e assegnando a questi ultimi i diversi parametri (altezza, lunghezza) a partire dalla definizione del piano di campagna preso a riferimento delle quote; parallelamente si scelgono i materiali e le finiture nelle librerie per caratterizzare le componenti. Costruito il piano di riferimento, si possono aprire diverse finestre, come il *Navigatore*, che aiuta a velocizzare le operazioni di movimento nella finestra di lavoro, gestire tutte le rappresentazioni di piante, prospetti, sezioni e viste 3D ma anche la documentazione tecnica, oltre a contenere strumenti importanti per la gestione e il successivo sviluppo del progetto.

Attraverso la simulazione progettuale è quindi possibile essere immediatamente informati sui potenziali impatti di modifiche alle caratteristiche architettoniche, impiantistiche o strutturali di un progetto ed eventualmente condividerli verificando le funzionalità e rispetto del concetto generale. Per visualizzare dunque il modello tridimensionale, si possono costruire diversi elaborati 3D, ad esempio rappresentazioni caratterizzate da colori, materiali e arredi, sia per condurre una valutazione intermedia del progetto che per poterlo presentare tramite la modalità *Mappa delle viste*, strumento che contiene le informazioni e le rappresentazioni grafiche del contesto architettonico. Le viste del modello possono essere, successivamente, impaginate nel *Book di Layout*, che permette di gestire le tavole, per comporre tutti gli elaborati grafici necessari alla stampa. La vista si può memorizzare tramite la *combinazione lucidi*, innovazione che permette di produrre elaborati molteplici e aggiornarli dinamicamente durante lo sviluppo del progetto, *scala del disegno*, *set di penne*, opzioni vista del modello che permettono di gestire aspetti grafici e il tipo di visualizzazione del disegno, oltre alle eventuali sovrascritture grafiche. Le numerose viste del modello possono essere organizzate in diverse cartelle tramite lo strumento *Mappa di progetto*, il quale contiene una struttura ad albero di tutte le viste, con un elenco di cartelle dei piani, sezioni, alzati, alzati interni, dettagli, documenti 3d ed altre visualizzazioni, compresi gli abachi.

Il software permette di gestire con grande flessibilità la rappresentazione avanzata e l'interazione con il modello; sono infatti disponibili diverse modalità per condividere, pubblicare e presentare il progetto attraverso esperienza immersiva dinamica, rendering fotorealistici o basati su filtri grafici NPR. In questo ultimo caso sono disponibili numerosi stili di rendering raggruppati sotto lo strumento *Rappresentazioni Creative* che comprende le categorie di rendering per elaborare rapidamente bozzetti da personalizzare e completare anche in post-produzione a mano o con editors grafici. Attraverso i settaggi di rendering è possibile intervenire sulle impostazioni per presentare scene a schizzo piuttosto che scene fotorealistiche.

Una sperimentazione è stata condotta sulla visualizzazione interattiva del modello, denominato ipermodello BIMx tramite applicazione esterna su dispositivi mobili o *desktop viewer*.

Attraverso l'app BIMx è poi possibile "navigare" liberamente il modello, interrogandolo per avere delle informazioni inerenti agli elementi usati nel progetto. BIMx è uno strumento integrato in ArchiCAD per presentare il progetto anche attraverso la consultazione degli elaborati impaginati. BIMx permette di navigare in tempo reale nei progetti architettonici in 3D usufruendo delle funzioni di gravità, controllo dei lucidi, modalità volo e riconoscimento delle aperture e della possibilità di definire percorsi di attraversamento presalvati, per la migliore esplorazione possibile del contenuto 3D del modello. Informazioni sugli elementi quali finiture di superficie, volume, dimensioni e quantità possono essere eventualmente visualizzate con un clic del mouse. Durante la navigazione in tempo reale è possibile prendere misure esatte che possono essere d'aiuto nei processi decisionali sul progetto e i relativi costi. I

progetti ARCHICAD possono essere pubblicati come modelli BIMx usando una procedura guidata o la funzione di *Pubblicazione*. L'Iper-modello BIMx può contenere l'intera documentazione del progetto ARCHICAD: il modello 3D, tutte le viste, i layout ed il percorso *Telecamera*. BIMx rende interattiva la fruizione della presentazione e permette una condivisione ampia permettendo anche a coloro che non hanno partecipato alla progettazione di esplorare il progetto. Tra i vantaggi principali la possibilità di una approfondita visualizzazione e percezione degli spazi, la rapidità dell'interazione e il tenere assieme tutta la documentazione prodotta, molto utile soprattutto nei progetti complessi.

Il modello BIM permette di gestire con grande flessibilità la rappresentazione avanzata e l'interazione con il modello; sono infatti disponibili diverse modalità per condividere, pubblicare e presentare il progetto attraverso esperienza immersiva dinamica: ad esempio, tramite la simulazione in real time degli interni, i rendering fotorealistici o con filtri grafici NPR. BIMx è uno strumento di ArchiCAD per presentare il progetto in modalità dinamica e di visita virtuale verificando i percorsi e le interazioni con gli allestimenti progettate. Il processo in fase di sperimentazione consente, per ogni elemento parametrico, di definire la classificazione, le proprietà, le funzioni e le informazioni sugli elementi progettuali che possono essere utilizzate anche per altre applicazioni specialistiche. Il modello, pubblicato tramite l'integrazione guidata di sue visualizzazioni, si rivolge a condivisione ampia permettendo anche a coloro che non hanno partecipato alla progettazione di esplorare il progetto. Quindi l'ipermodello è utile a progettisti e curatori per le verifiche interattive degli allestimenti, ma anche ai visitatori che visitano il museo online. Il risultato principale è stata la sperimentazione del modello ipertestuale verificando la user experience, il funzionamento dell'allestimento museale, e l'integrazione del modello 3d con la documentazione storica e l'inventario della collezione museale. Sono state simulate e riprodotte la struttura fisica dell'edificio museale attraverso le procedure di modellazione BIM, l'integrazione di informazioni parametriche di dettaglio e le principali caratteristiche delle superfici architettoniche e dei materiali. È un caso di particolare complessità progettuale poiché una parte del museo ingloba strutture originali appartenenti al teatro romano e gli interni sono caratterizzati da una ricca presenza di collezioni museali, oggetti, espositori, installazioni. Grazie all'ipermodello è stato possibile a navigare in tempo reale e fare delle verifiche che possono essere d'aiuto nei processi decisionali e per valutazione dei costi. L'ipermodello può contenere l'intera documentazione del progetto: il modello 3D, layout di prospetti, sezioni 3D, assonometria e prospettive, abachi ed il percorso di visita.

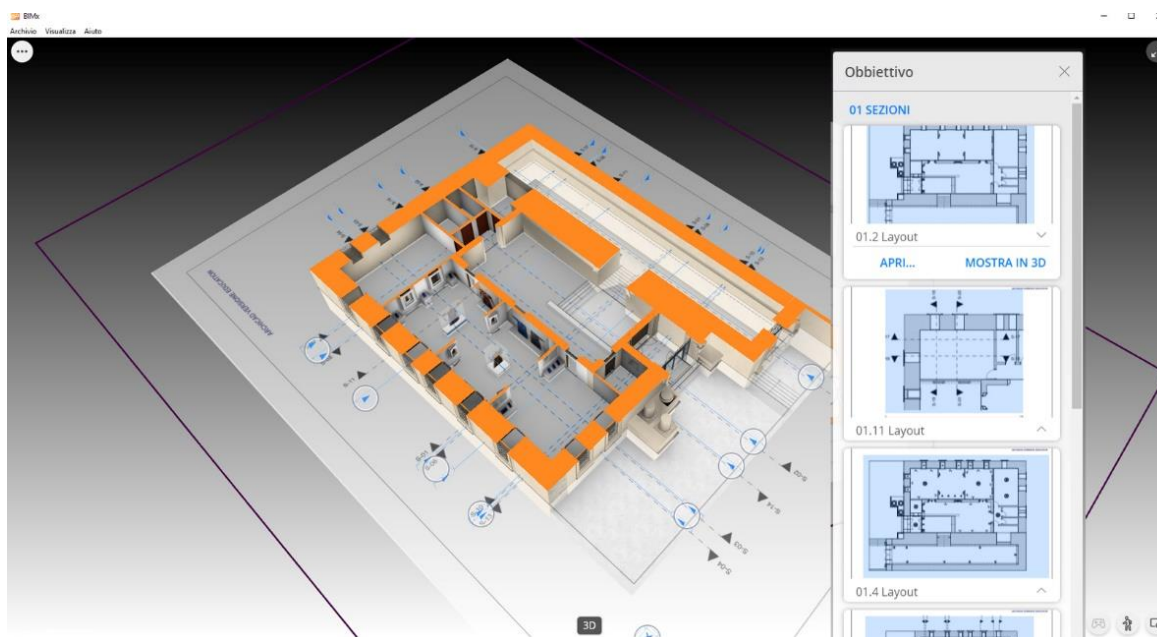


Figura 11 Ipermodello BIMx: layout di progetto, modello 3d di simulazione dell'allestimento, percorso interattivo tra le collezioni (Fonte: Mironenko, 2023)

Per una filiera più efficace è necessaria una fase di post-produzione che permette di continuare il processo creativo, personalizzare degli elaborati aggiungendo le informazioni, le textures e vari effetti per rendere il lavoro finale più definito e completo. Attraverso varie tecniche di editing grafico, raster e vettoriale, si può marcare l'aspetto grafico dell'allestimento preparare più tematizzazioni delle tavole finali. Le scene da renderizzare ad alta risoluzione sono molto elaborate e spesso appesantite dagli elementi più dettagliati, dai materiali applicati agli oggetti, ciò spesso li rende difficilmente gestibili ed allunga notevolmente i processi di calcolo grafico. (Figura 7)

Di fronte a tale difficoltà, l'obiettivo è quello di abbattere i tempi di produzione, pur assicurando la resa realistica dell'immagine prodotta. Dopo l'estrazione degli elaborati dal modello BIM e la fase di rendering nell'ambiente di *game engine* si ricavano le illustrazioni base sulle quali applicare gli effetti grafici di post-produzione. La soluzione ottimale, ad esempio in ambiente Adobe Suite, è quella di post-produrre gli elaborati integrando successivamente quei dettagli che non sono stati predisposti per essere soggetti al calcolo di rendering e che ne avrebbero aumentato considerevolmente i tempi di elaborazione.

Questa tecnica viene utilizzata sia per immagini di esterni che di interni e permette di lavorare sul render aggiungendo parecchi elementi come gli effetti dell'illuminazione, gli effetti atmosferici, la calibrazione del colore, l'inserimento di vegetazione o personaggi con la relativa ombreggiatura migliorando luminosità, contrasto, saturazione o inserendo sfondi e panorami oltre alle textures dei materiali.



Figura 12 Moodboard del concept progettuale e rappresentazioni in rendering realtime (Fonte: Mironenko, 2023)

3. Programmazione visuale e librerie parametriche per gli allestimenti museali

Nel caso di studio del museo delle Tradizioni Popolari di Amman si è sperimentato l'ambiente progettuale di ArchiCAD per sviluppare, in collaborazione con i curatori e il *Department of Antiquities* giordano, una applicazione sperimentale per gli allestimenti museali e il museo digitale⁸⁹.

Creare una libreria personale per la progettazione museale è una sfida interessante per la ricerca. Gli oggetti parametrici hanno un ruolo determinante nella progettazione BIM, sin dalle prime fasi della progettazione. Li posizioniamo come se fossero volumi della nostra composizione, ma in realtà contengono al loro interno dati e parametri che anticipano la posa in opera e il loro uso nel tempo. Gli oggetti costituiscono l'interfaccia fra la progettazione, intesa come processo mentale e creativo, e il processo costruttivo, fatto di innumerevoli scelte pratiche⁹⁰. Con l'introduzione del BIM, lo sviluppo dei softwares è stato indirizzato a rendere gli oggetti il più possibile parametrici per facilitare il compito dei progettisti; una delle principali critiche era la possibilità limitata di interagire con le librerie ovvero una percezione di maggiore libertà progettuale. Successivamente, quando il BIM ha imposto le sue procedure operative questa concezione è stata superata per rendere gli oggetti essere il più possibile realistici, e quindi unici dal punto di vista della soluzione progettuale. I due fronti, elaborazione parametrica e specificità tecnica possono apparire in antitesi; per tale motivo la modellazione è operata modulando gli oggetti dallo status generico a quello specifico determinato dall'uso dei LOD/LOIN⁹¹.

L'opportunità di disporre di oggetti personalizzati con un livello di definizione altamente parametrici non è quindi più così prioritaria. Bourg classifica i seguenti casi:

Oggetti generici che durante le fasi iniziali della progettazione vengono posizionati e permettono diverse configurazioni - ad esempio un tavolo di cui non conosciamo ancora le dimensioni finali. Diversi oggetti di questo tipo si trovano già nella libreria di sistema di ArchiCAD, con annesse alcune disposizioni d'arredo complete di elementi accessori, ad esempio il tavolo con le sedie disposte a seconda delle dimensioni totali dello stesso;

Oggetti specifici che vengono montati e allestiti in loco secondo la disponibilità dei componenti per costruirli: è il caso di elementi di arredo nel settore *Retail* e degli allestimenti fieristici ed espositivi. Anziché posizionare vetrine di diverse misure possiamo configurare un unico oggetto in diversi modi per adattarlo ai

⁸⁹ Lo Turco, M., Calvano, M. (2019). Digital Museums, Digitized Museums. In A. Luigini (Ed), Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage. EARTH 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol 919. Cham: Springer. ISBN9783030122409

⁹⁰ Bourg, H. (2021). PARAM-O e altri Strumenti per lavorare con gli Oggetti in ArchiCAD. <https://blog.ArchiCAD.it/bim/param-o-e-altri-strumenti-per-lavorare-con-gli-oggetti-in-ArchiCAD> (accesso 10 Maggio 2022)

⁹¹ Brusaporci, S., Tata, A., & Centofanti, M. (2020). Tecnologie avanzate per la rappresentazione dell'apparecchiatura costruttiva storica: HBIM e il rinnovarsi di un'istanza. CONNETTERE - Un disegno per annodare e tessere - CONNECTING - Drawing for weaving relationships.

layout d'insieme, e l'elemento finito corrisponderà comunque all'oggetto personalizzato;

Componenti che vengono utilizzati per definire dei macro-oggetti: ad esempio un pannello di un sistema di facciata o un giunto di una struttura reticolare. I pannelli possono essere configurati per variare il pattern della facciata, regolando ad esempio i livelli di opacità/trasparenza. Il giunto può assumere le inclinazioni delle aste da connettere. Gli oggetti costituiti a loro volta da oggetti consentono di gestire agevolmente livelli di complessità superiori⁹².

La *Standard Library* di ArchiCAD integra numerosi elementi parametrici che per esigenze progettuali è possibile arricchire con ulteriori oggetti e textures provenienti da cataloghi online. Su queste piattaforme, prevalentemente gratuite, si trovano gli oggetti parametrici nel formato GSM riconosciuto da ArchiCAD: *BIM Components*, al quale è possibile accedere direttamente dal software, e *BIM Object*, che contiene una vasta scelta di oggetti BIM dai siti dei produttori. Inoltre, si possono creare nuovi oggetti di libreria attraverso la registrazione online di modelli tridimensionali o di simboli e profili 2D (realizzati con l'ausilio degli strumenti *Forma* o *Profilo complesso*) ovvero personalizzando gli elementi già presenti nella *Standard Library* di ArchiCAD. In ambiente di modellazione è sempre possibile creare oggetti personalizzati, semplicemente salvando un insieme di geometrie.⁹³ Questa procedura è molto semplice e presenta dei limiti operativi che si superano ricorrendo a due specifici strumenti per la creazione di oggetti: gli applicativi Library Part Maker e PARAM-O.

Library Part Maker è un applicativo incorporato che permette di creare oggetti di ogni tipo che possono essere dettagliati in base alla rappresentazione desiderata o alla scala di rappresentazione utilizzando una visualizzazione semplificata, completa o particolareggiata⁹⁴. Gli oggetti elaborati tramite il *Library Part Maker* sono sia specifici poiché utilizzano profili reali o componenti presi da cataloghi ma sono anche rappresentati parametricamente, perché tutte le impostazioni si riferiscono a quelle disponibili nella libreria ArchiCAD di sistema.

Un altro applicativo oggetto della sperimentazione è lo strumento algoritmico PARAM-O, interfaccia di programmazione visuale a nodi visuali che sostituisce l'uso degli script che integra ed estende i comandi di modellazione parametrica: la modifica dei *features* permette di creare elementi parametrici di libreria senza scrivere direttamente il codice GDL (il *Geometric Description Language* è un linguaggio basato su BASIC). Il risultato è un oggetto di libreria parametrico completamente compatibile con ArchiCAD, un'alternativa più efficiente ad integrazione delle procedure che usano la programmazione algoritmica di Grasshopper⁹⁵.

⁹² *Ibidem*.

⁹³ Utilizzando il comando *Archivio > Librerie e Oggetti > Salva selezione come*.

⁹⁴ Oggetti come serramenti o componenti impiantistiche sono modulabili attraverso le *Opzioni Vista Modello*.

⁹⁵ Pernatkin, K. (2021). Parametric Conflicts: GDL vs Grasshopper. <https://2optik.livejournal.com/84085.html> (accesso 20 Aprile 2022)

È stata sviluppata una libreria di oggetti personalizzati e specifici rispettando gli standard di documentazione e progettazione per il museo. Il concetto di oggetto parametrico è importante perché attraverso i parametri disponibili nell'oggetto è possibile usare lo stesso elemento per svariate situazioni, adattandolo modularmente o creando installazioni *site-specific*. Ad esempio, uno stesso oggetto dell'allestimento, caso tipico gli espositori, può essere modellato e aggiornato più volte, modificandolo nelle dimensioni, negli accessori e nelle finiture.

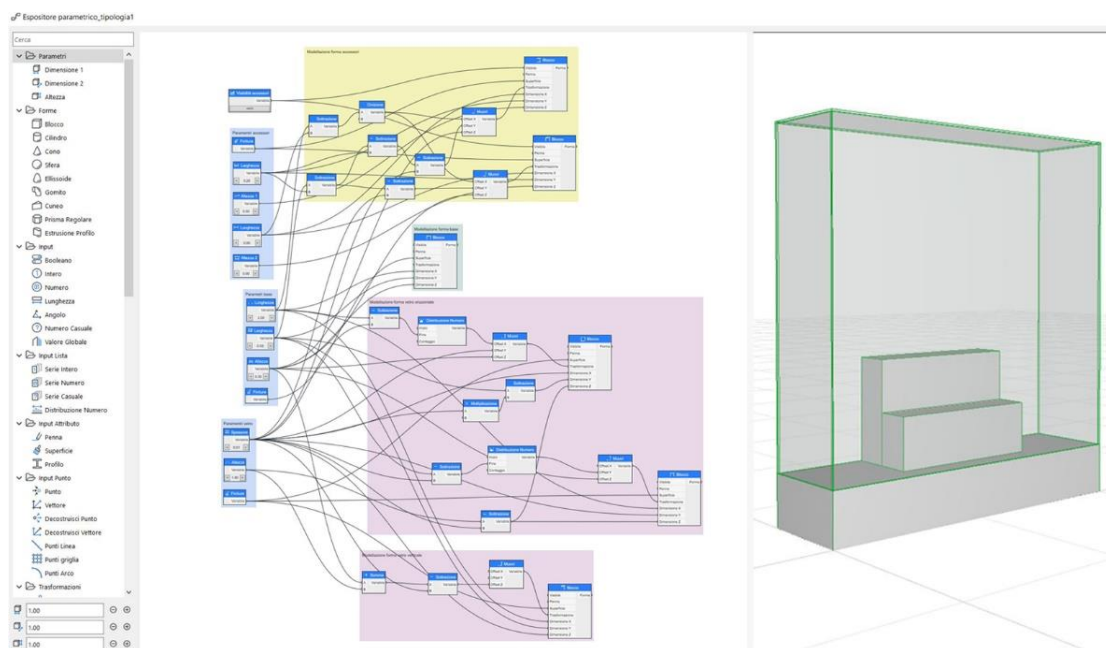


Figura 13 Algoritmo visuale per un espositore progettato parametricamente attraverso lo strumento PARAM-O di ARCHICAD (Fonte: Mironenko, 2023)

Questo metodo permette di fornire in modo rapido e semplice infinite varianti di progettazione e molte opzioni ai progettisti e ai curatori che possono dialogare attraverso le simulazioni interattive per verificare le nuove soluzioni di allestimento, la scelta definitiva delle collezioni da esporre e, infine, affinare l'allestimento museale in relazione alla *user experience*. Sono state definite tutte le caratteristiche degli oggetti da installare attraverso un processo di programmazione che fissa i “nodi”, cioè i moduli parametrici, e le loro connessioni che passo dopo passo porta all'installazione completa di struttura, pannelli, impianti e accessori; i nodi permettono di completare il modello parametrico e algoritmico con le sue forme, qualità, materiali, colori e accessori. Più parametri ha un oggetto, più è flessibile. Salvando l'oggetto creato in PARAM-O, questo diventa un elemento di libreria ARCHICAD nativo.⁹⁶

⁹⁶ In alcune situazioni avere una libreria completa in un file LCF (Library Container File) è più utile che avere la libreria nella sua originale struttura gerarchica di cartelle. La creazione della libreria LCF assicura che tutti i file necessari siano disponibili e vengano caricati e gestiti nel loro complesso. Se si dispone di una vasta libreria con molte cartelle ed elementi, questi saranno gestiti più comodamente tramite un singolo file LCF. Inoltre, se è necessario copiare o inviare la libreria, è ancora più facile gestire un solo file anziché dozzine o centinaia di elementi.

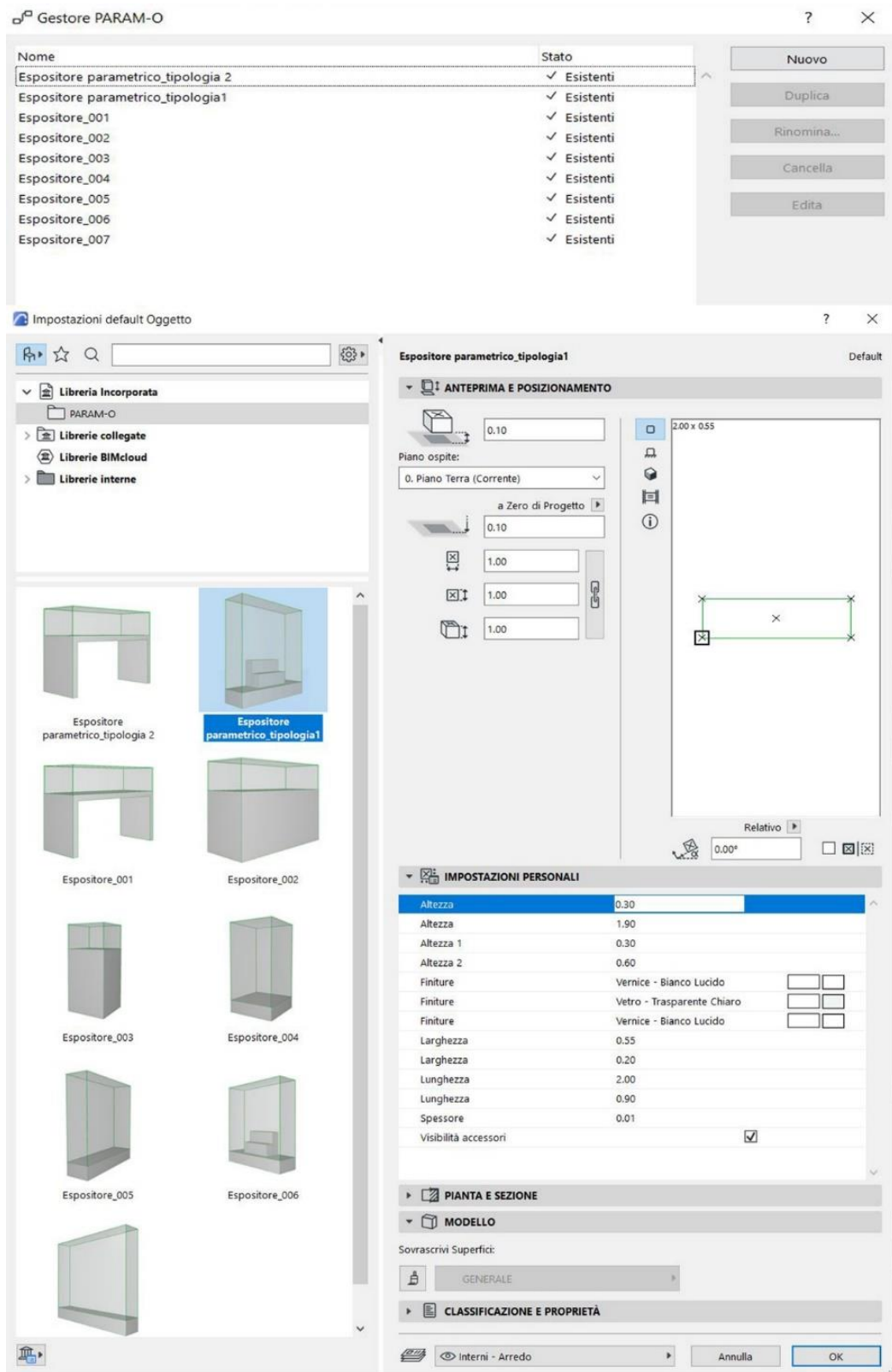


Figura 14 Gestore PARAM-O degli oggetti creati tramite algoritmo e poi trasformati in oggetti parametrici per la libreria BIM (Fonte: Mironenko, 2023)



Figura 15 Ipermodello BIMx: visualizzazione dell'ambiente museale con tutti gli elementi parametrici, principalmente espositori (Fonte: Mironenko, 2023)

La metodologia di ricerca ha combinato, attraverso metodi avanzati di rappresentazione, le diverse esigenze di digitalizzazione della progettazione museale; lo strumento BIM è stato introdotto non solo per gestire efficacemente le fasi progettuali tipicamente tecniche, da quelle preliminari fino al concept definitivo di un allestimento ma anche per creare un archivio informativo basato su un modello ipertestuale da esportare alla fine del processo. Si propone un protocollo universale svincolato dall'utilizzo dell'applicativo BIM, meramente legato alla progettazione parametrica degli ambienti, proponendo uno strumento accessibile alle diverse figure che operano nel sistema museale. Il procedimento permette ai curatori di collegare le collezioni, solitamente catalogate per schede di inventario, ad un ambiente visuale interattivo,

l'ipermodello BIMx, che contiene le soluzioni di allestimento definite per parametri, librerie e algoritmi di programmazione visuale. L'ipermodello può essere personalizzato e orientato ad un uso gestionale, di manutenzione e di verifica dei parametri di sicurezza ambientale piuttosto che alla performance energetica e illuminotecnica. Successivamente alla definizione progettuale della tavolozza esecutiva o *moodboard* ambientale, il modello BIM può essere completato includendo le principali tecnologie costruttive, gli elementi di caratterizzazione ambientale, i materiali, i colori, i dispositivi multimediali e le soluzioni per l'arredamento e l'illuminazione e si estende all'utilizzo da parte dei curatori per gestire la vita delle collezioni anche durante gli allestimenti temporanei.

Attraverso la rappresentazione avanzata in ambiente BIM, è stata eseguita la simulazione preliminare del museo e la verifica geometrica tramite l'acquisizione di una nuvola di punti. La modellazione tridimensionale e il design collaborativo, personalizzando le librerie con gli strumenti BIM più innovativi, consentono di visualizzare interattivamente l'ambiente progettato come prototipo di simulazione delle soluzioni museali. (Figura 10)

La sperimentazione in corso è finalizzata al riallestimento complessivo del museo a partire dalla digitalizzazione dell'inventario. Il modello ha quindi permesso di verificare, attraverso visualizzazioni e animazioni, la possibile organizzazione di un workflow progettuale finalizzato a realizzare rappresentazioni avanzate, multimediali e interattive per il design di interni in base a diversi scenari di progettazione, tra cui la trasformazione digitale di spazi e collezioni museali in librerie personalizzate. I singoli set di allestimento, così come gli spazi destinati alla conservazione dei costumi, sono pensati secondo moduli personalizzabili in base alle caratteristiche degli abiti, di lunghezza variabile. L'ipermodello museale favorisce una maggiore accessibilità e funzionalità nelle pratiche di museologia ed è uno strumento di notevole potenziale perché può incorporare le librerie delle collezioni museali create attraverso il sistema a nodi visuali GDL. (Figura 11)

La procedura BIM offre un ambiente di rappresentazione che si sviluppa dal rilievo e aumenta il modello nei diversi livelli informativi richiesti dagli allestimenti museali configurando un ambiente di condivisione ipertestuale e interattivo, tramite la modellazione parametrica. L'innovazione, qui sperimentata, propone un metodo progressivo di personalizzazione delle librerie parametriche superando il limite della simulazione esclusiva dello spazio architettonico. Curatori e progettisti possono così interagire nello stesso ambiente sviluppando per il progetto in corso in Giordania sessioni di progettazione collaborativa, in un quadro di cooperazione più inclusiva per comprendere, comunicare e rappresentare la ricchezza di una nazione e del suo patrimonio culturale, oltre la mera questione tecnica e tecnologica.

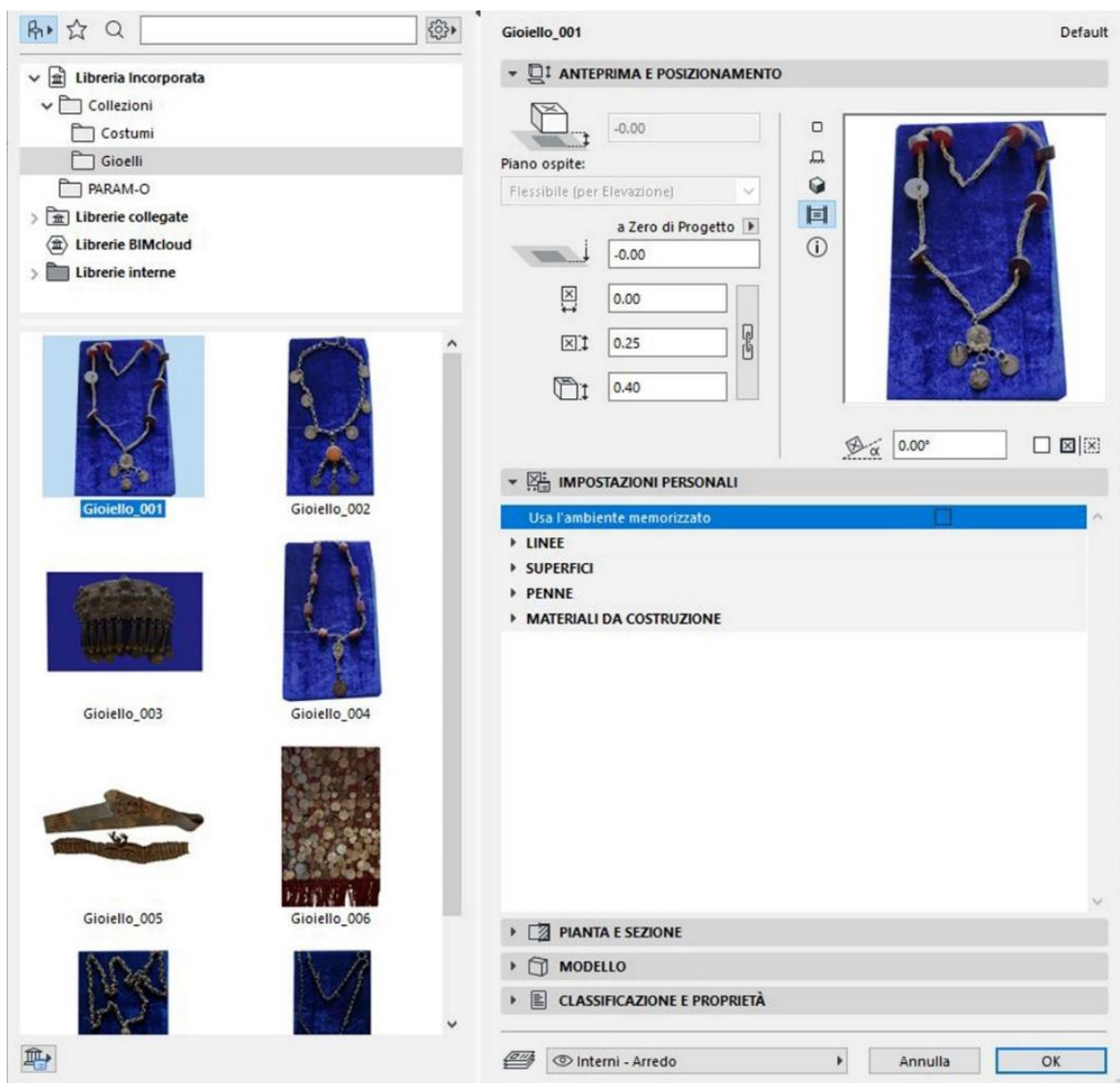


Figura 16 Libreria delle collezioni museali create attraverso il sistema GDL; il Geometric Description Language è un linguaggio di programmazione funzionale basato su BASIC disponibile nell'ambiente BIM (Fonte: Mironenko, 2023)

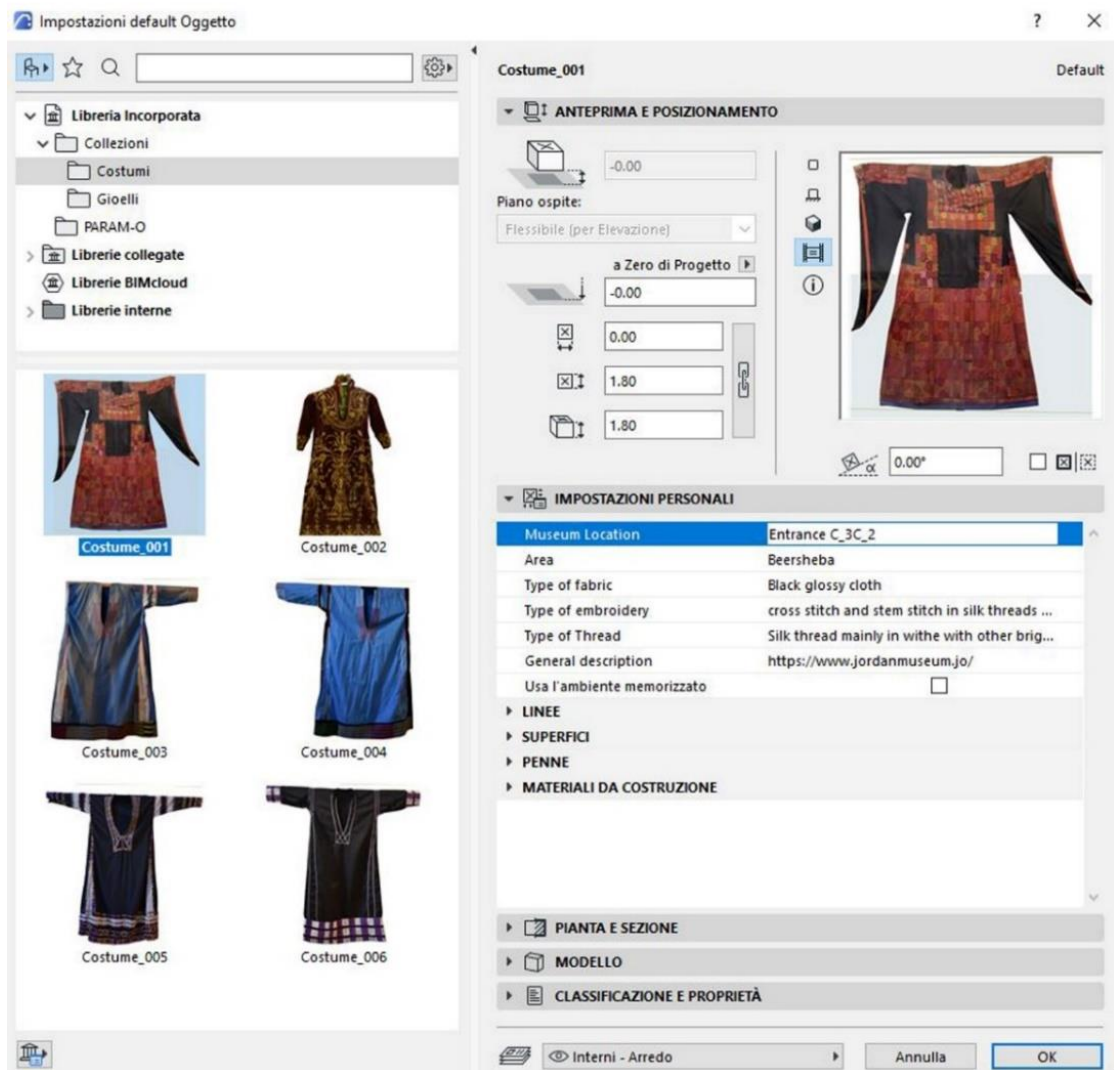
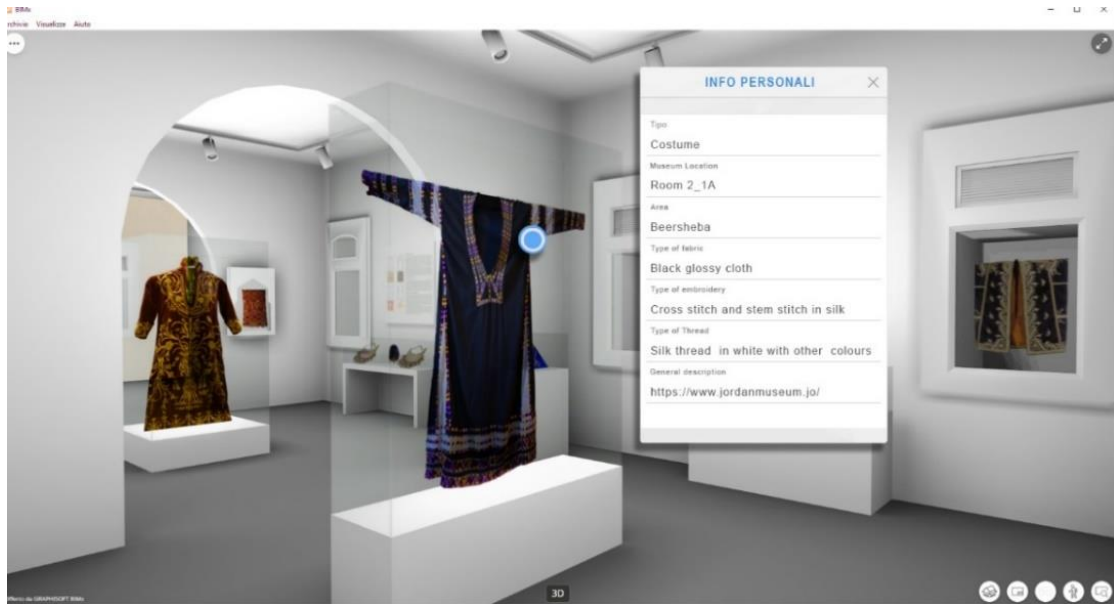


Figura 17 Libreria delle collezioni museali con le impostazioni personalizzate nell'ambiente BIM, per costumi e gioielli (Fonte: Mironenko, 2023)

PARTE III.

Il Museo simulato: esperienza interattiva del Teatro Romano di Amman.

Si descrive un'applicazione di realtà virtuale per la rappresentazione di un allestimento museale esperienziale per il caso di studio del Teatro Romano di Amman. Le tecnologie di *visual information* per la progettazione e la rappresentazione si evolvono per consentire un'esperienza immersiva degli interni museali e possono essere indirizzate sia alla produzione di contenuti multimediali che alla fruizione interattiva delle collezioni. La sperimentazione di applicativi nel settore del *gaming* permette di verificare tramite cicli iterativi di modellazione, rappresentazione e rendering *real-time* l'accessibilità, l'interazione e la funzionalità complessiva dell'ambiente museale.

1. Rappresentazione scientifica del Teatro Romano di Amman

La fase di test e verifica delle procedure presentate dalla tesi è stata condotta sul sito del Teatro Romano di Amman, in Giordania, dove si trovano il Folklore Museum e il Popular Traditions Museum, destinatari di un ampio programma di riallestimento secondo i principi del design esperienziale e della accessibilità universale. In particolare, l'interesse di ricerca si è rivolto alla modellazione degli ambienti a partire dai dati del rilievo per scansione laser, alla verifica della funzionalità degli allestimenti, alla simulazione dell'esperienza utente, all'interazione con i dispositivi multimediali oltre che al collaudo dei contenuti digitali riferibili agli oggetti esposti.

Il sito dove gli antichi Romani edificarono il foro di Philadelphia è oggi uno dei punti più caratteristici, assieme alla Cittadella, della downtown di Amman, vibrante capitale della Giordania, l'unica piazza di una città che è costruita per aggregazione di comunità e villaggi. Dopo secoli di abbandono e di spoliazione, soltanto all'inizio del secolo XX si realizzò un interesse scientifico verso i siti della Decapolis, antica lega di città, ossatura della regione siriana e giordana.

Nel 1899 ebbero inizio le esplorazioni di Howard Crosby Butler: tra il 1901 e il 1905, il teatro di Amman fu oggetto, per la prima volta, di uno studio approfondito, in cui comparivano numerosi rilievi riguardanti la cavea e le strutture murarie della scena⁹⁷. Le due estremità della cavea erano invece costruite su sostruzioni in blocchi di pietra calcarea, purtroppo non più conservate. La cavea risulta suddivisa in tre settori, *ima*, *media* e *summa cavea*, ma la parte più bassa, la *ima cavea*, non era visibile al tempo di Butler; il tentativo dell'archeologo di ricostruire la parte più bassa del monumento ha causato alcuni significativi errori. Benché la *ima cavea* e l'orchestra fossero completamente nascoste sotto gli strati di detriti, la parte superiore dell'*aditus maximus*, così come parte delle fondazioni della *scaenae frons*, rappresentati sia in pianta che in sezione, permettono di ricostruire almeno in parte la geometria dell'edificio.

Nella figura seguente, sono evidenziati i blocchi di fondazione della *scaenae frons* che probabilmente si trovavano in situ all'epoca di Butler, mentre la parte ricostruita è caratterizzata da una semplice linea che riprende ritmicamente l'alternanza delle nicchie del muro di scena. Queste tracce permettono quindi di inserire il teatro nella categoria degli edifici *rectilinear walls with independent podia* identificata da Frank Sear⁹⁸. La scena è composta da due muri paralleli: la *scaenae frons* fronteggiava il pulpito ed era la più spessa dei due muri. Questa struttura conteneva la *Valva Regia*, posizionata in una grande nicchia semicircolare con due nicchie semicircolari più piccole una su ciascun lato, oltre le quali si trovavano i due *hospitalia*. Di particolare interesse è infine la rappresentazione dei concetti utilizzati nelle volte dell'*aditus* e nel muro perimetrale che circonda il camminamento più alto. Un secondo studio architettonico venne realizzato due decenni dopo, tra il 1927 e il 1938, da una

⁹⁷ Butler, H.C., 1907. *Ancient Architecture in Syria*. Brill: Leiden.

⁹⁸ Sear, F., 2006. *Roman Theatres. An Architectural Study*. Oxford University Press: Oxford.

missione italiana condotta da Giacomo Guidi e poi successivamente da Renato Bartoccini⁹⁹. La missione era in realtà dedicata ai lavori di scavo dell'acropoli, situata immediatamente a Nord-Est dell'area del teatro.

Tuttavia, nel 1930, l'architetto Carlo Ceschi realizzò alcuni disegni del teatro e dell'Odeon ricostruendo un ipotetico sistema di corridoi passanti sotto la cavea che avrebbero dato accesso alle gradinate dei tre diversi settori.

Tale ricostruzione deriva dallo studio di dettaglio dei *vomitoria* con volta a botte all'epoca ancora conservati e che l'architetto ha rappresentato in modo estremamente dettagliato. Inoltre, è subito evidente come nei rilievi di Ceschi le rappresentazioni dei muri del *scaenae frons* e *post scaenium* siano molto diverse rispetto ai tracciati di Butler, benché la tecnica costruttiva della fondazione del muro di scena sembri la stessa.

⁹⁹ Botarelli, L., 2015. The Theater. In S. Anastasio, L., Botarelli (ed.) *The 1927-1938 Italian Archaeological Expedition to Transjordan in Renato Bartoccini's Archive*. Archaeopress Archaeology: Oxford, 163-175).

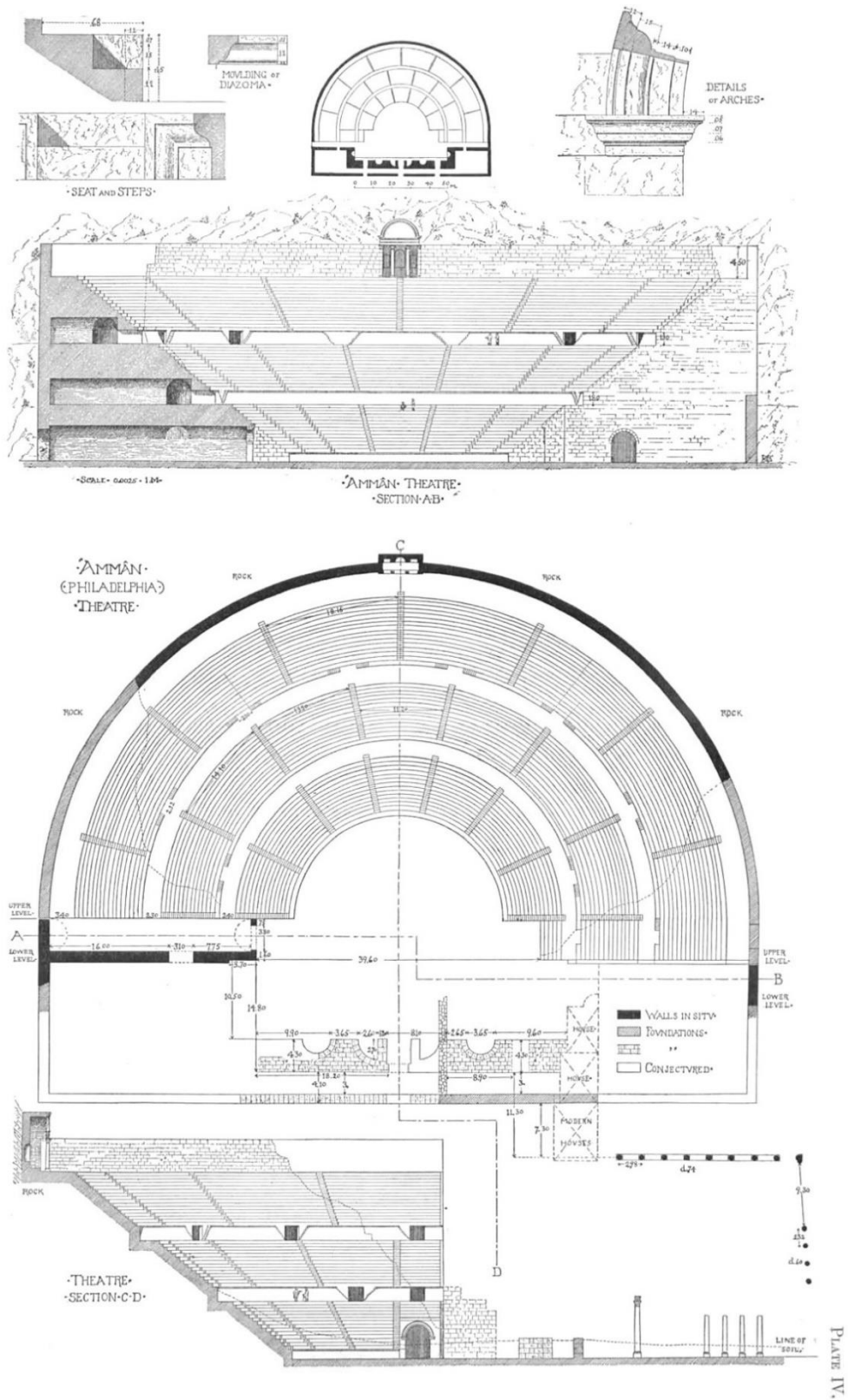


Figura 18 Rilievo del teatro di Amman di Howard Crosby Butler (1907, pl. IV) (Fonte: Amoruso, 2023)



Figura 19 Missione archeologica italiana in Transgiordania, 1927–1938. Archivio Renato Bartoccini. (Anastasio Botarelli 2015, fig. 287, 289, 303) (Fonte: Amoruso, 2023)



Figura 20 Rilievi del teatro di Amman, Carlo Ceschi, 1930. Missione archeologica italiana in Transgiordania, 1927–1938 (Almagro 1983, fig. 11-15, 21) (Fonte: Amoruso, 2023)

Infine, Ceschi disegna il tempietto a edicola soprastante la *summa cavea*, scavato nella roccia, chiamato “piccolo ninfeo” nella pubblicazione italiana.

Una seconda fase è stata quella relativa ai lavori di restauro dell'intera area del foro, avvenuti dal 1967 al 1970 e preceduti da attività di scavo (1964 – 1967) per mettere in luce la *ima cavea* e ripulire integralmente la struttura. Al termine dei lavori, Fawsi Al-Fakharani ripubblica il rilievo della pianta a seguito degli interventi di restauro e ne fa un commento accurato che mette in evidenza le incongruenze frutto della ricostruzione¹⁰⁰. La svolta importante avvenne agli inizi degli anni Ottanta, quando Antonio Almagro realizzò per la prima volta uno studio comparativo dei rilievi del teatro precedentemente realizzati. L'occasione fu data dai lavori preliminari alla campagna di scavo della missione spagnola presso il palazzo omayyade nella cittadella di Amman (1974-1981). Lo studioso elencò dettagliatamente gli errori delle ricostruzioni, mettendo in evidenza come i modelli ricostruttivi, nei disegni di inizio secolo, fossero spesso

¹⁰⁰ Al-Fakharani, F., 1975. Das Theater von Amman, Jordanien, *Archäologischer Anzeiger*, n. 3, p. 377-403.

viziati da preconcetti derivanti dai paradigmi dell'architettura classica. Secondo Mark Wilson Jones, esiste da sempre la tendenza a ricostruire le lacune lasciate dal record archeologico attingendo dalla nostra "idea" di monumento, anziché calandosi nella dimensione della tradizione architettonica degli antichi, che quei monumenti avevano costruito¹⁰¹. In particolare, Almagro mette in evidenza le incongruenze dell'apparato di corridoi di accesso ai settori della *ima e media cavea*, i dettagli delle prime gradinate della *cavea* e dell'orchestra e del *pulpitum*, ovvero i settori rimasti coperti all'epoca di Butler e Ceschi. Il suo contributo, ancora di grande utilità scientifica, di fatto ripropone il tema della ricostruzione di un immaginario dei monumenti laddove viaggiatori di ogni epoca si erano lasciati tentare da suggestioni e miti finendo per creare un racconto storico per immagini piuttosto che uno studio scientifico. Il suo insegnamento è ancora più valido nell'epoca in cui lo studio del patrimonio architettonico si confronta con la gestione della notevole quantità di dati che gli strumenti ci mettono a disposizione. Si deve tener conto del fatto che una grande massa di informazioni immagazzinate grossolanamente non risulta necessariamente più utile di quelle informazioni opportunamente selezionate e interpretate¹⁰².

¹⁰¹ Jones, M.W., 2000. *Principles of Roman Architecture*. Yale University Press: New Haven e Londra.

¹⁰² Almagro, A., 1983. The Survey of The Roman Monuments of Amman by the Italian Mission, *Annual of the Department of Antiquities of Jordan* n. 27, p. 607-639. Almagro, A., Almagro-Vidal, A., 2007. Traditional drawings versus new representation techniques. In *XXI International CIPA Symposium*, 01-06 October 2007, Athens, Greece. CIPA: Atene.

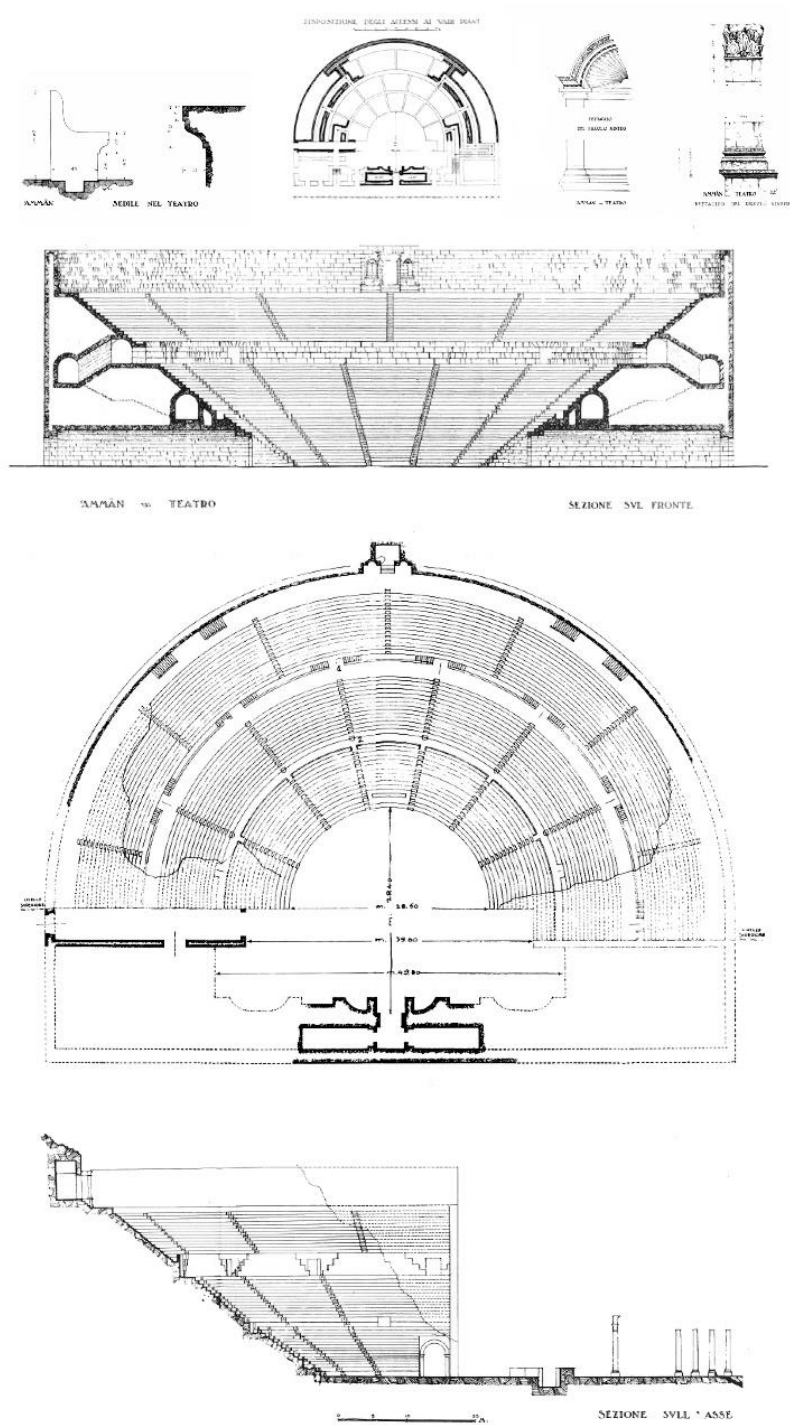


Figura 21 Tempietto sulla cavea del teatro, rilievo di Carlo Ceschi, 1930. Missione archeologica italiana in Transgiordania, 1927–1938 (Almagro 1987, fig. 20) (Amoruso, 2023)

2. Applicazioni di *Virtual Reality*, dal modello 3D all'ambiente di *game engine*

Con l'inizio del nuovo millennio la digitalizzazione ha evoluto i processi di comunicazione della società portandoli da una modalità passiva legata alla fruizione delle informazioni, a nuovi domini virtuali che, da Youtube ai social network, prevedono la partecipazione attiva degli utenti nel produrre e condividere contenuti con i quali interagire liberamente. L'ulteriore progressione tecnologica ha introdotto applicazioni di Intelligenza Artificiale e l'impiego di piattaforme tridimensionali in cui la fruizione dei significati e l'interazione con altri utenti avviene attraverso la mediazione di un *avatar* virtuale, influenzando le dinamiche con cui gli individui praticano lo spazio ed interpretano la realtà.¹⁰³

Conseguentemente anche la fruizione del patrimonio culturale è sempre più mediata da ricostruzioni digitali di manufatti e architetture, da tour virtuali delle collezioni dei musei, da spazi social condivisi e da applicazioni di realtà aumentata o mista che supportano l'esperienza diretta o simulata. Nascono così nuovi modelli narrativi e strutture interpretative inedite, basate sull'integrazione di linguaggi eterogenei, che aprono alla determinazione di un nuovo settore interdisciplinare conosciuto come *Digital Heritage*.¹⁰⁴

La tecnologia ha fatto molta strada nel risolvere molti dei primi limiti della realtà virtuale (VR); nonostante siano stati compiuti progressi significativi, la rappresentazione virtuale accurata dei punti di riferimento storici e culturali è stata limitata dalla mancanza di strumenti per modellare la realtà in modo rapido, economico e accurato. La rappresentazione del patrimonio costruito richiede due forme distinte di dati 3D, condizioni attuali e reali e interpretazioni storiche virtuali o teorizzate. Chiamiamo la combinazione delle due forme virtualizzata in contrapposizione a quella virtuale.¹⁰⁵

Il periodo della pandemia Covid19, con le conseguenti ridotte mobilità, chiusure e restrizioni di accesso, ha costretto a modalità di comunicazione tendenzialmente omologate, come tour virtuali e la condivisione da parte dei curatori di video di visite guidate; più raramente sono state avviate campagne di digitalizzazione e produzione di contenuti da rendere disponibili sul web, ad esempio esperienze immersive o repliche interattive oggetti virtualmente ricostruiti. L'elevato numero di contributi sui beni museali, disponibili in letteratura, può far pensare che un numero significativo di studiosi della rappresentazione museale abbiano proposto o siano stati chiamati a offrire soluzioni originali e innovative al riguardo, mirate, da un lato, a riportare il

¹⁰³ Museum Experience Design. Crowds, Ecosystems and Novel Technologies, Springer

¹⁰⁴ Vermeeren, A., Calvi, L., Sabiescu, A., 2018. *Museum Experience Design. Crowds, Ecosystems and Novel Technologies*, Springer

¹⁰⁵ Addison, A.C., & Gaiani, M. (2000). Virtualized Architectural Heritage: New Tools and Techniques. *IEEE Multimedia*, 7, 26-31.

pubblico nei luoghi dell'arte e a fargli vivere esperienze immersive e interattive e, dall'altro, a creare nuovi collegamenti tra spazi reali e virtuali.¹⁰⁶

Negli ultimi decenni è stato portato avanti un veloce e articolato processo di digitalizzazione nei campi dell'arte e della conoscenza, con l'obiettivo di trovare nuove modalità per preservare, analizzare e comunicare la cultura e i luoghi di interesse. Molti musei, archivi e istituzioni, insieme ad artisti e aziende specializzate nel design visivo e interattivo, digitalizzano le proprie collezioni per renderle disponibili online, creando vasti cataloghi e persino tour virtuali per fornire un'esperienza coinvolgente e stimolante.¹⁰⁷

A causa delle restrizioni di sicurezza adottate per arginare e controllare la situazione pandemica, che ha cambiato radicalmente l'esperienza di interazione e di movimento delle persone all'interno e all'esterno dei propri Paesi, questo processo di digitalizzazione sta affrontando un forte impulso evolutivo, apportando sempre più tecniche e modalità di vita alternative. diffusione e fruizione del patrimonio culturale¹⁰⁸

Sfruttando tecnologie avanzate e la realtà virtuale, è possibile creare ricostruzioni di luoghi reali, con diversi livelli di accuratezza e somiglianza con l'originale, che possono essere utilizzate per allestire esperienze alternative di mostre e visite, lavorando sull'immersività e sull'interazione con l'ambiente virtuale come punti chiave per catturare l'attenzione degli utenti, fondendo informazione e intrattenimento, per veicolare un messaggio attraverso il coinvolgimento. La realtà virtuale garantisce l'opportunità di creare e vivere spazi liberi dai limiti imposti dalla realtà fisica, soprattutto quando si parla di patrimonio culturale e della sua conservazione. Permette agli utenti di esplorare luoghi lontani, siti inaccessibili a causa delle loro condizioni, ricostruzioni fedeli di edifici distrutti¹⁰⁹.

La narrazione di uno spazio digitale deve essere progettata attraverso l'intera area navigabile, in quanto il pubblico è parte della scena, lavorando sulla percezione e sul comportamento degli utenti per incanalare o deviare il loro interesse, utilizzando elementi alternativi come suoni spazializzati, alterazioni ottiche, luci e movimenti, o anche cercare di innescare stimoli sensoriali utilizzando stratagemmi sinestetici. Inoltre, introducendo nuovi dispositivi e tecniche per simulare i sensi, diversi dai display VR, è persino possibile raggiungere una connessione più profonda con le repliche digitali, riproducendo una quantità più ricca di dati che possono aiutare a comunicare l'argomento in modo più completo e unico¹¹⁰.

¹⁰⁶ Giordano, A, Russo, M. Spallone, R. 2022. *Representation Challenges: Searching for New Frontiers of AR and AI Research*. FrancoAngeli

¹⁰⁷ Antinucci, F. (2007). *Musei virtuali. Come non fare innovazione tecnologica*. Roma-Bari: Laterza

¹⁰⁸ Toffoletti, I. 2021. *Chiusi per Covid. Aperti per cultura. Musei e Comunicazione digitale. Bilancio e Prospettive*. Roma: Gangemi.

¹⁰⁹ Cianci M. G., Calisi D., de Lorenzo A. 2019. La realtà virtuale immersiva per la conoscenza del patrimonio culturale: il quartiere Alessandrino a Roma. In Conte Antonio, Guida Antonella (eds.). *Patrimoni in divenire. Conoscere, valorizzare, abitare*. Atti del VII Convegno Internazionale sulla documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e della tutela paesaggistica ReUSO 2019. Roma: Gangemi, pp. 1357-1366.

¹¹⁰ Riccò, D. 2008. *Sentire il design. Sinestesie del progetto di comunicazione*. Roma: Carocci. p. 28-32.

I *game engine* nascono a metà degli anni '90 in seguito al successo conseguito dai videogame in soggettiva, applicativi ludici che simulano la visione prospettica tridimensionale permettendo all'utente di esperire nel mondo virtuale il punto di vista del proprio avatar. La complessità della visualizzazione dinamica, unitamente alle limitazioni imposte dalla tecnologia dell'epoca, richiese la realizzazione di software caratterizzati da un'architettura modulare, che gestisse sincronicamente le componenti informatiche che controllano l'hardware e le risorse artistiche e le dinamiche interattive che presiedono all'esperienza ludica. Negli anni successivi i *game engine* si sono evoluti in molteplici livelli, legati da vari gradi d'interdipendenza, specializzandosi nella produzione dei diversi generi ludici.¹¹¹

Amoruso e Buratti hanno inquadrato questi applicativi in base ad alcune caratteristiche comuni che ne caratterizzano poi l'operatività:

a) Rendering Real Time

Il motore di rendering è uno dei componenti più complessi e caratterizzanti, capace di supportare la rappresentazione *real-time* necessaria all'interattività avanzata. A differenza di un filmato, composto da una sequenza di immagini statiche elaborate un'unica volta e riprodotte in successione, la scena di un ambiente interattivo varia a seconda degli input dell'utente, necessitando del ricalcolo in tempo reale delle geometrie e delle qualità materiche e luminose di ambienti e oggetti.

b) Interattività e supporto VR e AR

I *game engine* consentono un supporto ottimale per l'interazione con ambienti tridimensionali simulati. Questi sistemi gestiscono utili astrazioni grafiche che controllano il movimento nello spazio digitale e la gestione degli oggetti. Sono disponibili anche strumenti di registrazione delle informazioni telemetriche, fondamentali quando si eseguono studi in cui gli utenti interagiscono in/con ambienti virtuali e quando i dati di queste interazioni devono essere raccolti e organizzati.

c) Simulazione fisica in tempo reale

La maggior parte dei motori di gioco si è arricchita negli anni di kit di sviluppo software (SDK) realizzati da terzi, che liberano i programmatori dal dover riprogettare ogni volta funzioni ricorrenti, permettendo di concentrarsi sulle dinamiche di gioco e sulla caratterizzazione di ambienti e personaggi. Tra questi gli applicativi che simulano le leggi della fisica, basati su modelli biomeccanici avanzati che riproducono in maniera robusta i sistemi dinamici. La traiettoria di un proiettile lanciato contro una finestra seguirà quindi le leggi della dinamica, unitamente al calcolo dei vari coefficienti di rottura, attrito e resistenza che si determineranno al momento dell'impatto e che presiedono al movimento delle schegge risultanti, rendendo sempre più labile il confine tra rappresentazione e simulazione della realtà fisica.

d) Multiconnessione

¹¹¹ Amoruso, G., Buratti, G. 2022. Game engine: valutazione comparativa per una teoria d'utilizzo nel campo del Digital Heritage. In *Building Information Modeling, Data & Semantics*, Cecilia Bolognesi, Massimiliano Lo Turco (a cura di), n.10/2022, DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile, 2022, p. 119-135.

È la possibilità per più partecipanti di interagire in un ambiente virtuale condiviso, senza la perdita della stabilità di interazione. La natura condivisa del processo consente inoltre di osservare lo stato dell'ecosistema virtuale in tempo reale attraverso dispositivi separati che non influiscono sul comportamento degli utenti, permettendo di studiarne le dinamiche relazionali.

e) Audio spaziale

Con il diffondersi della comunicazione multimediale la progettazione del livello sonoro è diventata importante quanto lo studio della visualizzazione. Gli applicativi audio integrabili in un motore di gioco consentono di simulare in modo accurato la propagazione sonora, contribuendo all'efficacia dell'esperienza immersiva. La possibilità di combinare i dati audio-spaziali con la telemetria del sistema fisico fornisce inoltre una potenziale fonte di dati empirici, utili per ricerche sull'acustica.

f) Intelligenza Artificiale

Tradizionalmente, il rapporto tra intelligenza artificiale e videogame è sempre stato molto stretto e finalizzato a rendere plausibili gli elementi che devono rispondere alle regole del particolare contesto digitale. Già da anni le intelligenze artificiali sviluppate per adeguarsi alle dinamiche di gioco dei diversi utenti e personalizzare l'esperienza ludica sono utilizzate in numerosi campi, dalla ricerca ai settori merceologici, per interpretare ed anticipare il comportamento dei fruitori. Se fino a qualche anno fa, la modellazione di ambienti e architettura era finalizzata alla produzione di rappresentazione fotorealistiche, rendering, ovvero illustrazioni in *digital painting*.¹¹² Oggi gli strumenti consentono di sviluppare visualizzazioni generative o simulazioni ambientali *real-time*. La transizione del modello dall'ambiente BIM all'ambiente di *game engine* rappresenta un passo significativo nell'implementazione di applicazioni di VR nei musei.

Questa metodologia, sperimentata nel caso di studio del rilievo scientifico del Teatro Romano prevede diverse fasi:

Acquisizione dei dati: rilievo fotografico, rilievo architettonico, laser scanner, fotogrammetria, ricerca.

Modellazione: si procede con la creazione di un modello 3D delle opere d'arte, dei reperti o dell'ambiente museale. Questo modello può essere creato utilizzando software di modellazione 3D o 2D CAD, BIM modellazione parametrica, elaborazione nuvola dei punti con software dedicati.

Integrazione in un ambiente *Game Engine*: una volta creato il modello, viene integrato in un ambiente di *game engine*. Bisogna considerare che varie software con motore di *game engine* hanno diverse caratteristiche della compatibilità dei formati dei modelli 3D.

Progettazione dell'interattività e della navigazione: creazione scenario di interattività ed esperienze di VR. Lavorazione degli ambienti con materiali ed illuminazione, inserimento del link ipertestuali.

Ottimizzazione e condivisione: durante questa fase, è importante ottimizzare le prestazioni dell'ambiente di *game engine* per garantire un'esperienza fluida e

¹¹² Amoruso, G. 2008. *Illustrare in Digitale*, Patron Editore: Bologna.

priva di ritardi per i visitatori. In questa sperimentazione, la progettazione museale ha incluso oltre agli allestimenti anche le installazioni relative all'entertainment culturale impiegando strumenti avanzati per realizzare ambientazioni virtuali. Si tratta di motori di rendering e programmi di animazione che propongono rappresentazioni dinamiche in tempo reale con strumenti di base istantanei, semplici da utilizzare e che permettono di agire sul valore evocativo ed emozionale dell'allestimento. Il render fotorealistico in tempo reale rappresenta insomma una grande novità nell'abbinamento diretto all'ambiente BIM così come è possibile fare con ArchiCAD, che è fra i pochi software ad avere una live connection con Twinmotion, cioè una connessione con aggiornamento in tempo reale con il motore di rendering Unreal Engine sviluppato da Epic Games. In questo modo non è più necessario esportare esternamente il file ma semplicemente è sufficiente accedere all'ambiente di *game engine* perché il modello si aggiorni in automatico anche se si attuano modifiche progettuali. È un software di nuova concezione che in tempo reale è in grado di mostrare il risultato già finito con una qualità ed una velocità di calcolo tali che spesso ci spingono a preferirne l'utilizzo rispetto ai software più tradizionali.

Un aspetto molto interessante è la possibilità di realizzare dei rendering di animazione 3D e anche dei tour virtuali del progetto in modo da creare una esperienza di realtà immersiva per il progetto che si sta realizzando.

L'uso integrato dei due softwares (Twinmotion e ArchiCAD) offre numerosi vantaggi, tra cui:

Flusso di lavoro efficiente: L'integrazione tra i due software consente un flusso di lavoro più fluido e rapido, riducendo il tempo necessario per creare render e video di alta qualità.

Presentazioni più coinvolgenti: il link diretto dal BIM permette di creare presentazioni interattive e lavorare sui parametri di immersività che consentono agli utenti di esplorare i progetti in modo più approfondito.

Maggiore precisione: l'utilizzo del modello BIM nell'ambiente *game engine* garantisce che le visualizzazioni siano sempre basate su dati accurati e aggiornati, in quanto il modello visualizzato è sempre il più avanzato dal punto di vista progettuale.

3. Storytelling e strategia di interazione e concept di allestimento museale

Negli ultimi anni il concetto di bene culturale si è evoluto da mero oggetto appartenente ad una collezione a messaggero di storie e usi parte di un vasto paesaggio culturale, spesso sconosciuto e diventando strumento di racconto e coinvolgimento all'interno dell'istituzione museale. Il patrimonio non può essere considerato un elemento valorizzabile ma un'entità da promuovere e valorizzare. I diversi elementi del Patrimonio Culturale (CH - Cultural Heritage) costituiscono i musei e i loro contenuti culturali. Questa famiglia, che

un tempo comprendeva solo beni fisici e culturali, è oggi molto più numerosa che in passato e comprende anche il Patrimonio Culturale Immateriale attraverso la rappresentazione multimediale di tradizioni, memorie e testimonianze.

Il concetto di bene culturale come innesto di memorie e patrimonio dà alle comunità un senso di identità e continuità, promuovendo così il rispetto per la diversità culturale e la creatività umana. La sua dimensione trascende il significato di bene materiale e comprende tradizioni, stili di vita, esperienze e memorie culturali. L'obiettivo sperimentale è di ideare e simulare la fruizione del CH legato al Teatro Romano di Amman¹¹³, visualizzando contenuti dedicati per interagire anche con repliche fisiche tattili destinate ad una visita multimediale, facendo conoscenza dei personaggi che hanno abitato il Foro nell'antichità.

Questa attività di ricerca è finalizzata alla verifica e all'applicazione della *Raccomandazione sulla protezione e promozione dei musei e delle collezioni, della loro diversità e del loro ruolo nella società* (UNESCO Parigi, 2015), che sottolinea l'importanza delle tecnologie per il compito del settore del patrimonio culturale e spazi favorevoli all'istruzione e all'apprendimento permanente. Le attività hanno sempre la responsabilità sociale di portare avanti una missione educativa e di sviluppo; pertanto, gli spazi culturali degli edifici del Foro Romano saranno progettati per superare la dimensione tangibile e sensoriale standard, per comunicare e condividere un Patrimonio inteso anche come processo di appropriazione e come tale legato alla dimensione immateriale.

Per ottenere la corretta e dettagliata ricostruzione virtuale di un Teatro Antico, gli elementi immateriali, legati principalmente alla sua funzione, sono essenziali tanto quanto le sue caratteristiche materiali¹¹⁴. Tra le mille componenti e storie che ruotano attorno ad una macchina scenica spettacolare come il Teatro Romano di Amman, le scelte sulla comunicazione dei contenuti si indirizzano alla riscoperta di due aspetti fondamentali: la sua natura architettonica, evidenziata dalla forma, e il livello narrativo che nasce dalla dinamica scenica teatrale. Questa mostra comprende pertanto una sfera sia materiale che immateriale, tracciando un percorso di visita suddiviso per obiettivi. Nel creare un dialogo tra il monumento e il pubblico, diventano protagonisti il significato simbolico e le modalità di fruizione rappresentative e performative dei diversi spazi: *cavea*, *orchestra*, *scaena*.

¹¹³ La vecchia città di Philadelphia, attuale Amman, capitale della Giordania

¹¹⁴ Viccei R., (2019). Ricostruzioni digitali per la conoscenza e la valorizzazione dei teatri antichi: usi, significati, questioni aperte. in M. Limoncelli, F. Sacchi, R. Viccei, *Indagini archeologiche e ricostruzioni digitali per lo studio degli spazi teatrali greci e romani. Visioni e prospettive*, Milano, EDUCatt, 2019, p. 83-148.

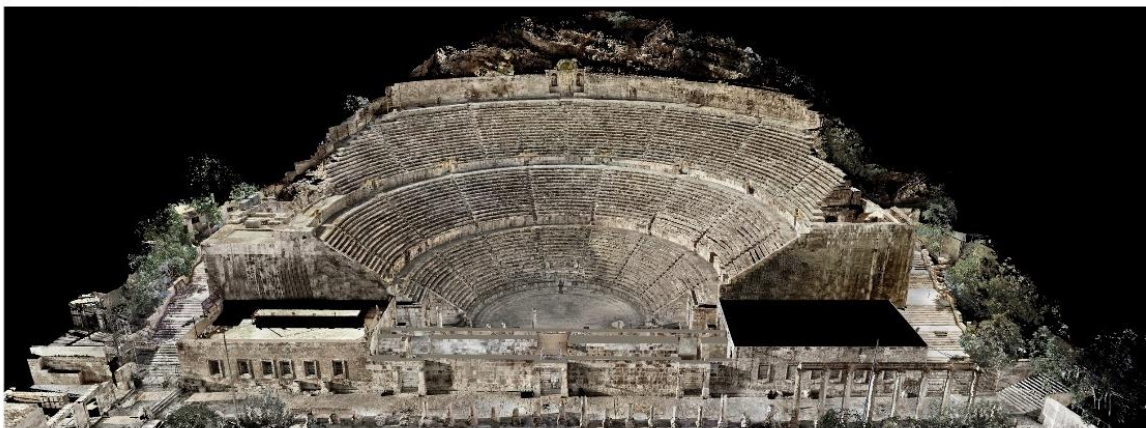


Figura 22 Teatro Romano di Amman, nuvola di punti. (Fonte: Amoruso, 2023).

Questi tre elementi rappresentano il nucleo architettonico del Teatro e saranno oggetto della mostra multimediale sulla quale è stata condotta la sperimentazione.

Il Teatro è il monumento più importante che resta dell'antica Philadelphia romana, parte della rete di 10 città greche, denominata *Decapolis* (323-63 a.C.), che si estendeva su un vasto territorio del Medio Oriente alla frontiera orientale dell'Impero Romano, fra le attuali Giordania, Siria e Israele. La cavea si poggia nel fianco della collina utilizzando un supporto naturale come accadeva per i più importanti teatri greci in un connubio fra natura ed artificio di universale bellezza. Ai lati del *frons scaenae* del Teatro Romano, nel luogo dei cosiddetti *parascaenium*, sono stati aperti all'inizio degli anni '70 i primi due musei sulla cultura nazionale. Il Popular Traditions Museum (1971), situato nella sezione orientale del Teatro, custodisce una ricca collezione di costumi tradizionali del patrimonio folcloristico giordano e palestinese; il Folklore Museum (1975), situato nella sezione occidentale del Teatro, ospita collezioni che rappresentano le differenti culture giordane: Cultura del deserto (Bedu), Cultura dei villaggi (Reef), Cultura delle città (Madineh).

L'aggiornamento dei modelli scientifici, rappresentativi del patrimonio culturale, e dei nuovi paradigmi tecnologici, che sempre più rapidamente consentono di "duplicare l'arte", rende ancora più interessante questa nuova avventura di (ri)scoperta e conoscenza di uno dei monumenti più grandi in Giordania. I "Cultural deep fakes" di Sarah Kenderdine, sul tema dell'arte e del suo doppio nell'era della AI, pongono interrogativi sugli strumenti culturali, etici e scientifici per rappresentare, in una mostra multimediale, l'anima ed il corpo del teatro, concetti duali come il rapporto tra forma e spazio¹¹⁵.

¹¹⁵ <https://epfl-pavilions.ch/news/deep-fakes-art-and-its-double-press>, (accesso 15 Maggio 2023).

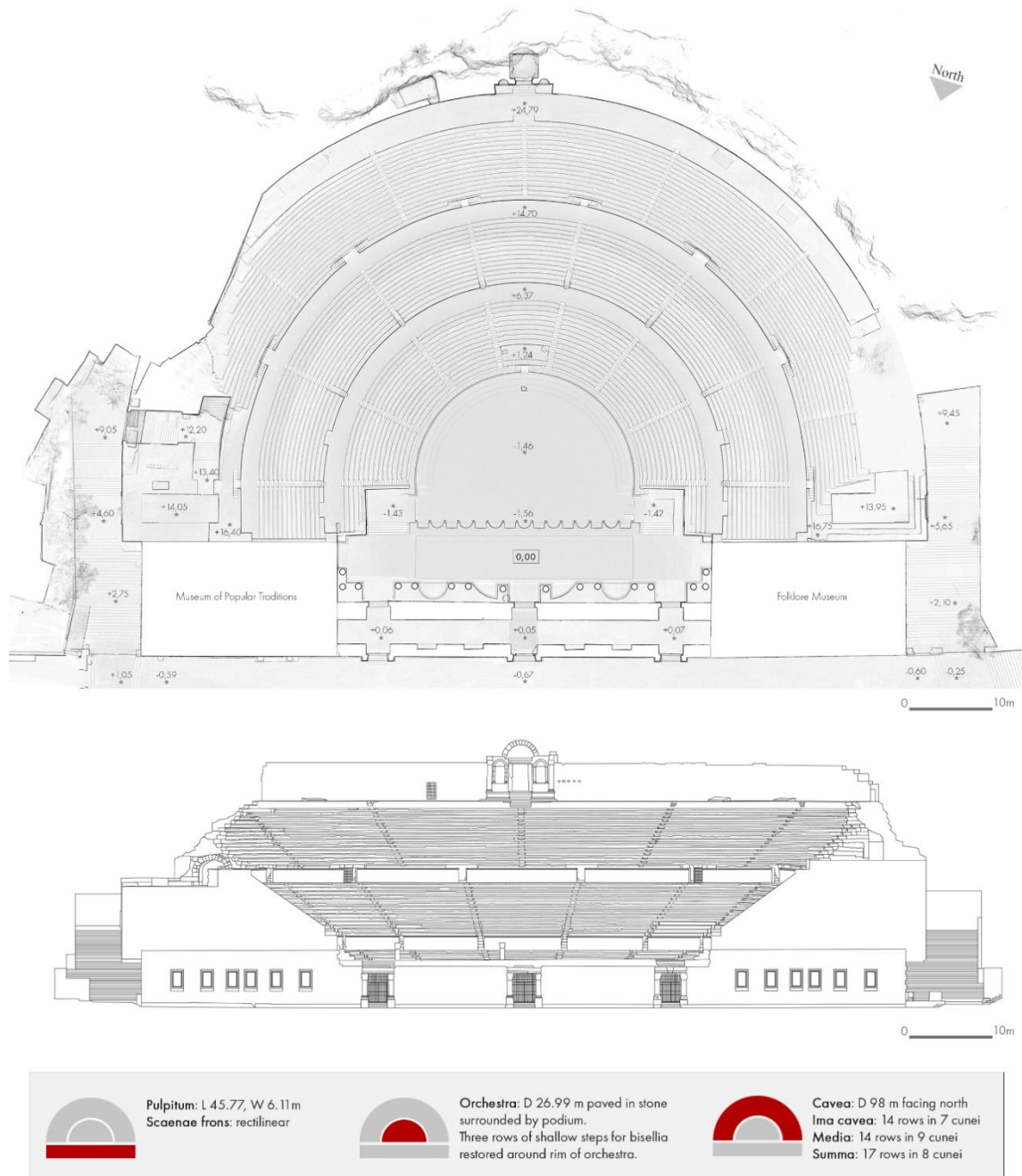


Figura 23 Il Teatro Romano di Amman con individuazione degli elementi architettonici principali: cavea, orchestra, scaena (Fonte: Amoruso, 2023).

Come fare esperienza del teatro romano? Come comprendere la sua architettura monumentale e i suoi spazi così rigorosamente geometrici? Come rivivere l'atmosfera di un luogo dedicato agli spettacoli dove gli attori-istrioni interagivano con gli spettatori?

Si tratta di sfide multidisciplinari, delle *humanities* ma anche delle arti creative, che vanno indirizzate ai futuri visitatori e destinatari di una esperienza.

Insieme ad altri prodotti multimediali, la replica digitale degli edifici, oltre a costituire un contenitore di fonti georeferenziate può attivare esperienze

partecipative creando immedesimazione e rompendo quell'aura di mistero che circonda di solito le grandi opere e i loro artefici.

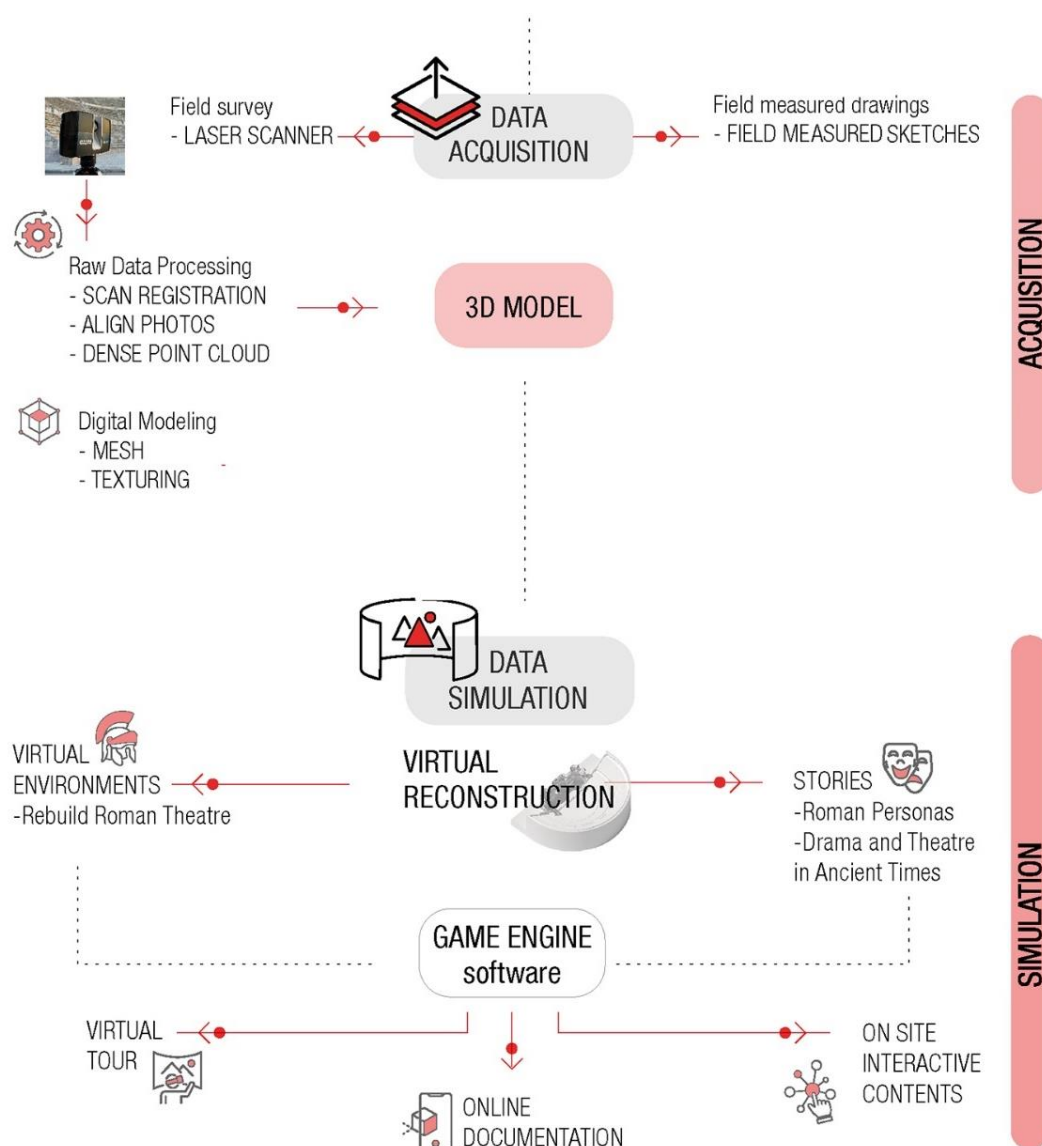


Figura 24 Quadro logico della metodologia di ricostruzione 3D (Fonte: Amoruso, Carioni, 2023).

Per ottenere la replica digitale del Teatro, a partire dal rilievo 3D per scansione laser, il progetto di ricostruzione ha definito tre diversi modelli di rappresentazione. Nel caso di studio, la metodologia si applica infatti attraverso tre diversi modelli di Rappresentazione del bene culturale¹¹⁶: cognitivo, architettonico, ricostruttivo.

Modello cognitivo. Un modello informativo ed eterogeneo, contenitore di tutte le

¹¹⁶ Amoruso, G., Carioni, C. (2023). Roman Theatre Experience the Making of Digital Reconstruction. in *Digital Restoration and Virtual Reconstructions. Case Studies and Compared Experiences for Cultural Heritage*. Ilaria Trizio, Emanuel Demetrescu, Daniele Ferdani (eds), Springer Nature, 2023, p. 275-295.

informazioni raccolte: dati, fotografie, pubblicazioni e documenti. Applicando le linee guida della *Carta di Londra*, i dati raccolti hanno riguardato: fotografie provenienti da archivi internazionali (fondo cooperazione USA, Library of Congress, Department of Antiquities e altri); disegni architettonici provenienti da missioni internazionali (Butler-1907, Ceschi-1930, Almagro-1983-88); descrizioni e disegni dei viaggiatori; diari di scavo; letteratura scientifica e confronti con altre costruzioni simili.

Modello architettonico. Un modello tecnico che verifica le specificità geometrico-proporzionali e definisce le peculiarità architettoniche e tipologiche in forma grafica. Si tratta di una raccolta di ipotesi ricostruttive, rilievi e illustrazioni della tipologia dello spazio teatrale. Questo modello è un documento tecnico in aggiornamento, come conseguenza di ulteriori rilievi e indagini archivistiche. La campagna di documentazione ha previsto analisi dirette e misurazioni, disegni di cantiere e acquisizione di dati 3D con un laser scanner. Le misurazioni dirette hanno permesso di verificare i parametri tipologici e alcune lacune nella documentazione storica così come anche contraddizioni nei disegni di rilievo realizzati nelle precedenti missioni archeologiche. Tale modello ha lo scopo di definire dettagliatamente lo stato del monumento e di descriverne gli elementi tipologici. Non essendo disponibile documentazione sul restauro e sulla ricostruzione parziale degli anni 70, soltanto i rilievi hanno potuto evidenziare le semplificazioni tipologiche e alcune incongruenze nel riposizionamento dei conci originali. Il modello, idealmente, ricostruisce i principali episodi dell'edificio: l'area antecedente la costruzione del Teatro e la sua costruzione; l'abbandono, il crollo e l'asportazione di parti importanti; la parziale ricostruzione fino allo stato attuale d'uso.

Modello ricostruttivo. Rappresenta la sintesi di un percorso di valorizzazione culturale del monumento al fine della sua musealizzazione sia tramite contenuti per allestimenti che la produzione di documenti digitali. La ricostruzione scientifica affianca il monumento nelle sue nuove funzioni, nel caso specifico ospita due musei sul patrimonio tradizionale e permette la comprensione di informazioni complesse grazie alle potenzialità dei media digitali. Per il Teatro Romano di Amman la ricostruzione delle diverse fasi dell'edificio ha avuto molteplici finalità: verifica geometrico-proporzionale; georeferenziazione delle informazioni e dei dati; produzione di contenuti multimediali e condivisione per renderlo accessibile tramite giochi interattivi per i bambini, percorsi di visita e allestimenti, accesso a contenuti ipertestuali, di simulazione (*game engine*) e in realtà aumentata. Il Teatro romano di Amman è anche il sito presso il quale idealmente è stato ipotizzato l'allestimento interattivo e multimediale¹¹⁷.

¹¹⁷ Amoruso, G., Carioni, C. 2023. Roman Theatre Experience the Making of Digital Reconstruction. in *Digital Restoration and Virtual Reconstructions. Case Studies and Compared Experiences for Cultural Heritage*. Ilaria Trizio, Emanuel Demetrescu, Daniele Ferdani (eds), Springer Nature, 2023, p. 275-295, ISSN 2731-7269, ISSN 2731-7277 (electronic) ISBN 978-3-031-15320-4 ISBN 978-3-031-15321-1 (eBook).

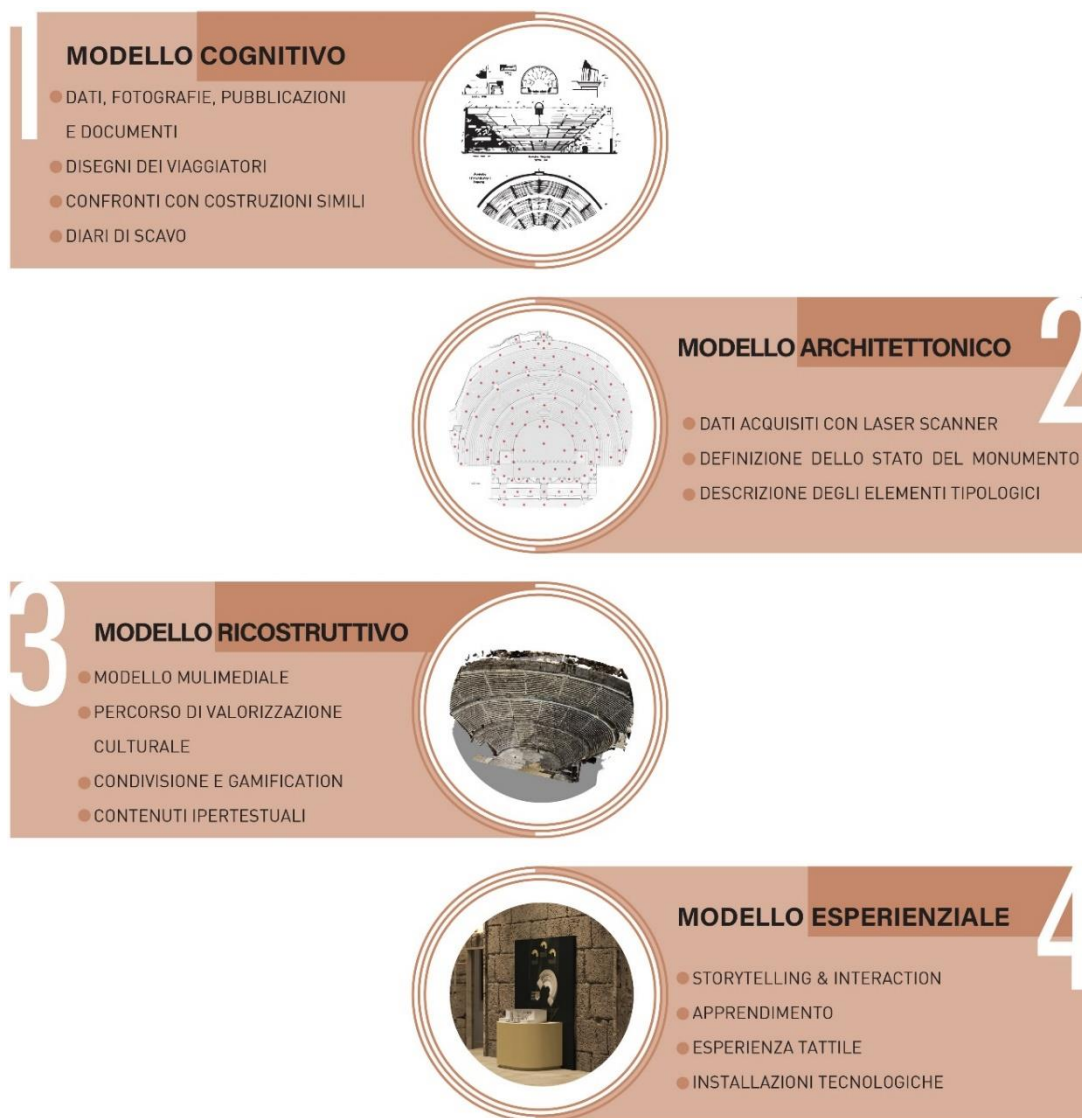
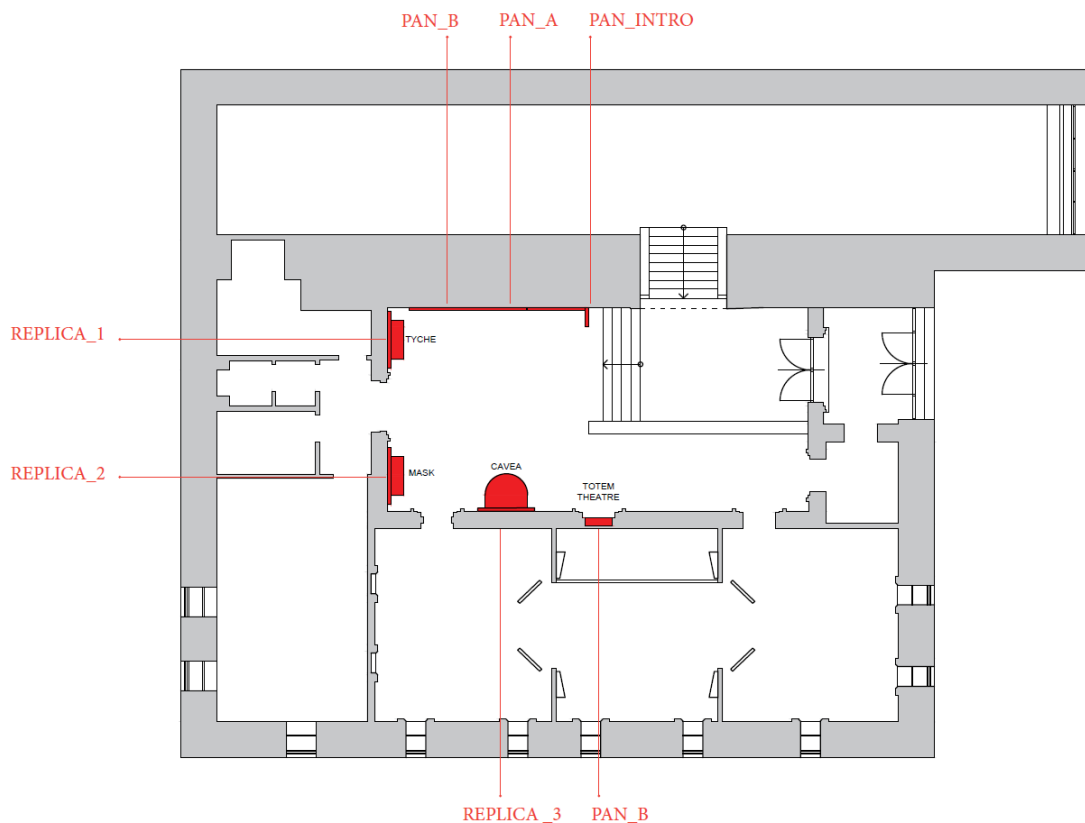


Figura 25 Modelli logici di rappresentazione di un bene culturale ai fini della sua valorizzazione esperienziale (Fonte: Mironenko, 2023).

A questi modelli sopra menzionati, la ricerca in corso ha potuto affiancarne un quarto modello, chiamato *esperienziale*, che sintetizza la strategia, i contenuti, la narrazione e i dispositivi che rappresentano l'interazione e l'accessibilità. Questo modello è indirizzato alla metodologia di musealizzazione del teatro romano e al percorso esperienziale che è suddiviso in sezioni secondo diverse modalità di interazione.

Le informazioni ottenute dalla ricerca del modello cognitivo e del modello architettonico del Teatro Romano hanno portato alla sintesi di alcuni dati scientifici fondamentali che sono diventati base e struttura nella scelta dei contenuti da musealizzare, integrando anche gli elementi culturali del patrimonio immateriale.



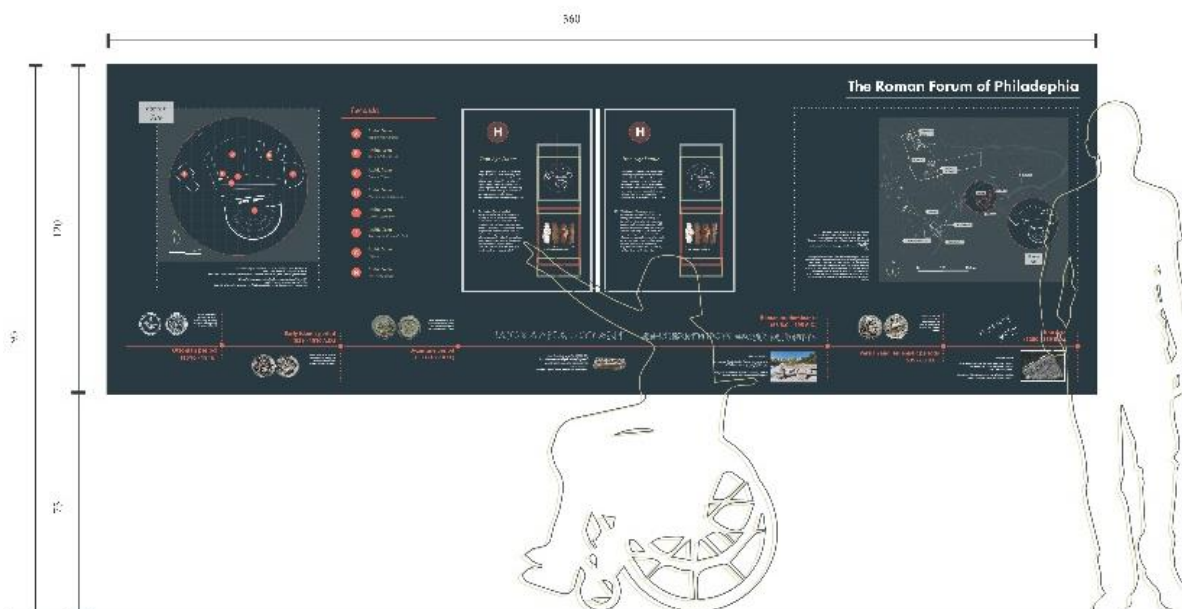
*Figura 26 Mostra del Teatro del Amman nel museo delle Tradizioni Popolari. Pianta distributiva.
(Fonte: Mironenko, 2023).*

La scelta di praticare la rappresentazione in ambiente BIM ha permesso maggiore versatilità nello sviluppo dei diversi documenti progettuali e modelli ipertestuali per la futura musealizzazione del teatro. Trattandosi di una attività innovativa e data la vastità del monumento, sono stati verificati i metodi più appropriati per la visualizzazione e l'esperienza tattile, per garantire un accesso inclusivo, partecipativo, coinvolgente e universale ai contenuti storici e alle storie. Lo scopo è stato di avvicinare i visitatori al rapporto, spesso misterioso, tra forma architettonica e spazio teatrale, tramite visualizzazioni, racconto audiovisivo, esperienza sonora degli spettacoli e linguaggio geometrico per creare un'esperienza culturale come combinazione e connessione tra i diversi saperi. Il potere significativo del linguaggio multimediale è stato al centro del programma di valorizzazione del Teatro Romano di Amman.

Le illustrazioni realizzate per gli allestimenti si suddividono in diverse categorie, in relazione alle esigenze di racconto, coinvolgimento e interazione. La prima parte svolge storicamente la serie di eventi che hanno caratterizzato il sito a partire dagli oggetti rinvenuti; custodiscono la memoria del luogo, ad esempio una serie di monete che, riportando l'effigie dell'imperatore, hanno consentito la datazione dell'opera. I pannelli sono pensati come un unico nastro, una pellicola di un film che si srotola sulla parete. Principalmente pannelli a parete di proporzione orizzontale come fotogrammi di una tavola illustrata, una storia illustrata dai documenti di scavo, referenziata storicamente per dare il giusto contesto storico al sito e al suo monumento principale.

Repliche tattili con fondali per introdurre la storia del luogo, la città e la sua patronessa Tyche e poi la maschera, emblema della recitazione e dei luoghi ad essa votati. Un tavolo interattivo con la replica della cavea e la rappresentazione multimediale di come si arriva a costruire un teatro a partire dalle regole di tracciamento sul terreno permettono di comprendere in modo immediato, pratico, preciso ed evocativo le sue parti presentando un glossario grafico ma anche di restituire all'immaginario quelle porzioni perdute, principalmente il fronte scena e le parti sommitali della cavea.

Nella ricostruzione del teatro sono stati applicati i principi della *Carta di Londra*, laddove le visualizzazioni digitali devono contribuire all'esperienza del patrimonio culturale rendendolo pienamente accessibile. A tal fine il percorso di visita è stato suddiviso in sezioni secondo le diverse modalità di interazione previste, a carattere non verbale, tattile, digitale, sonora, interattiva e di immedesimazione.



*Figura 27 Mostra del Teatro del Amman nel museo delle Tradizioni Popolari. Pianta distributiva.
(Fonte: Amoruso, Carioni, 2023).*

L'uso delle tecnologie arricchisce ambienti e allestimenti di contenuti interattivi e consente di risolvere diversi problemi di accessibilità. Lo scopo è di permettere un'interazione produttiva dello spettatore con le esposizioni museali, favorire accessibilità a diverse categorie di utenti e di portatori di disabilità, ma anche maggiore inclusione per un pubblico in età scolare. L'esperienza di partecipazione ad uno spettacolo nel teatro romano espone i visitatori ad una partecipazione rivolta alla loro capacità di immaginare.

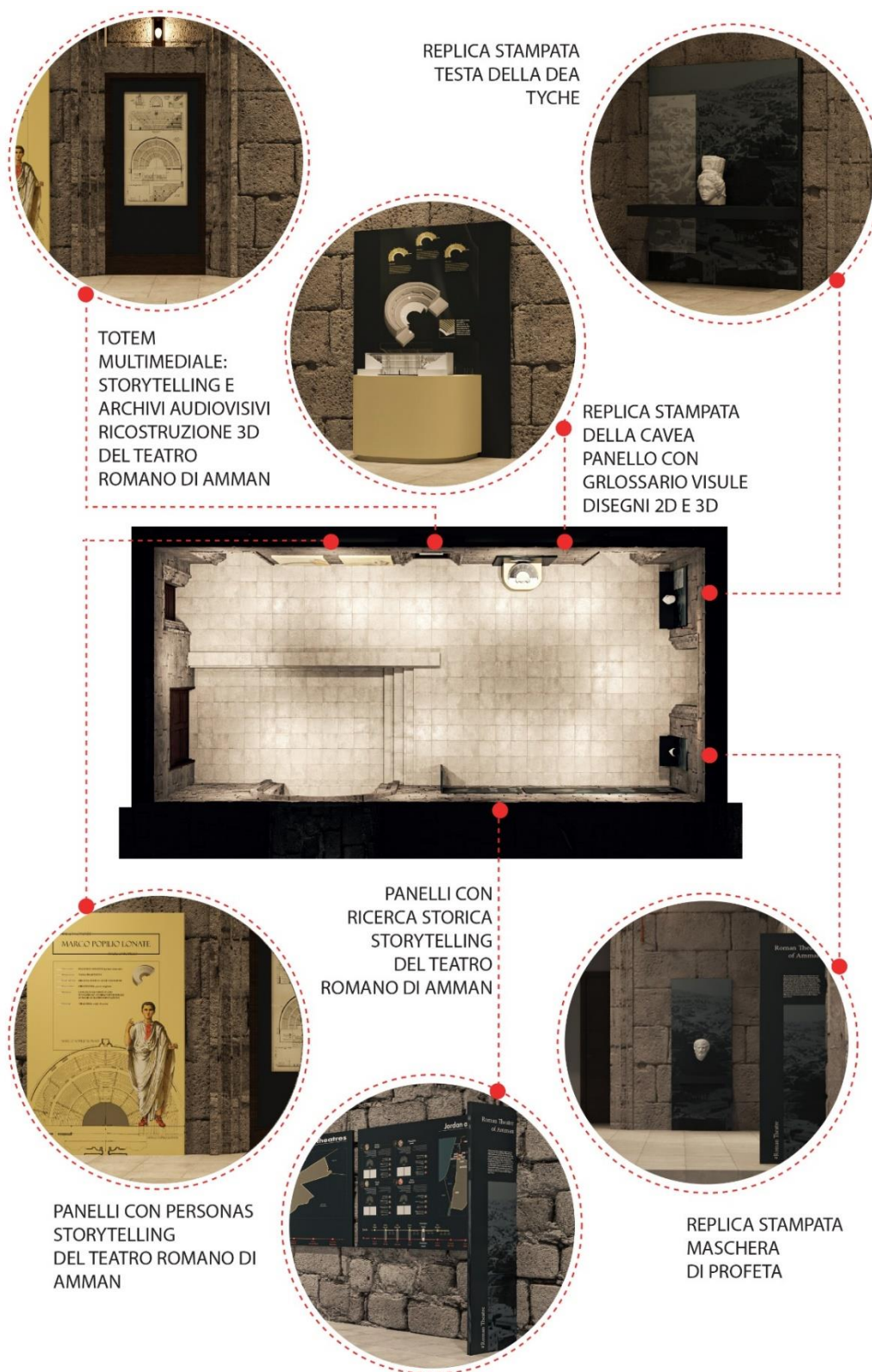


Figura 29 28Mostra sul Teatro Romano nel museo delle Tradizioni Popolari di Amman. Pianta distributiva. (Fonte: Mironenko, 2023).

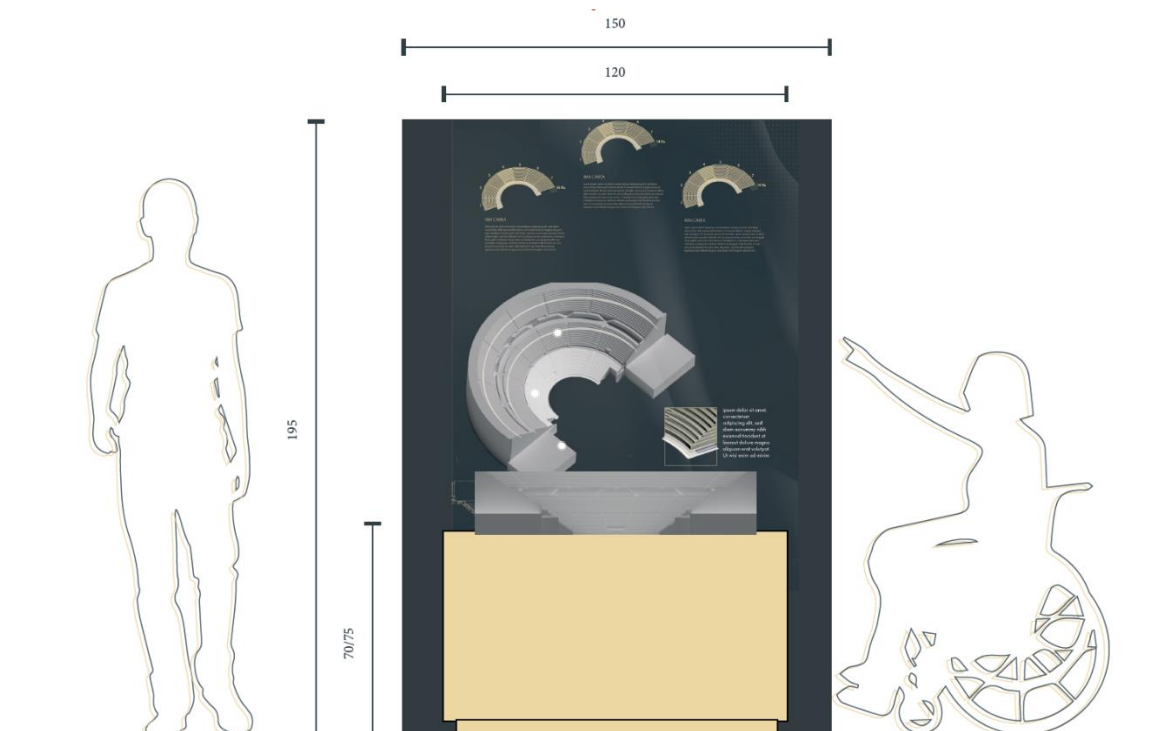


Figura 30 Mostra sul Teatro di Amman presso il museo delle Tradizioni Popolari. Pannelli informativi. (Fonte: Amoruso, Carioni, 2023).

La seconda parte del percorso di visita ospita una serie di modelli tattili realizzati in stampa 3D, alla scala dei reperti originali (nel caso di studio una testa della dea *Tyche*, la patrona a cui era affidata la fortuna della città e una maschera da tragedia di terracotta esposti presso il museo archeologico della Cittadella di Amman). Il modello più grande è quello del teatro che ricostruisce la sua geometria e la configurazione architettonica dell'imponente cavea a tre livelli. Tali modelli sono concepiti per essere toccati, le superfici sono state levigate e trattate con un film impermeabilizzante. È possibile quindi toccare la cavea e anche la riproduzione del prospetto del fronte scena, l'elemento architettonico più complesso ed emblematico dei teatri romani sul quale purtroppo le fonti sono assai ridotte. L'ultima parte della visita è dedicata ai personaggi chiave della storia delle vicende legate al teatro romano, realmente esistenti ma anche di finzione, le cosiddette *personas*, che rappresentano uno specchio della società greco romana dell'epoca. I dispositivi per gli utenti con disabilità sensoriali sono quelli legati alla tattilità: modelli a tutto tondo (testa, maschera, cavea), affiancati da un tablet su cui si può interagire con l'*alias* digitale, modelli con profili geometrici e in proiezioni ortogonale come per il fronte scena, testi nella lingua braille e, in generale, testi didascalici semplificati. Tutti i dispositivi sono accessibili in sicurezza; una serie di etichette (QR code) permettono di ascoltare testi brevi, una guida sonora che accompagna le diverse installazioni.



Figura 31 Rilievo di una maschera di terracotta e della testa di Tyche tramite lo scanner a luce strutturata. Archeological Museum, Amman (Fonte: Amoroso, Manti, 2023)

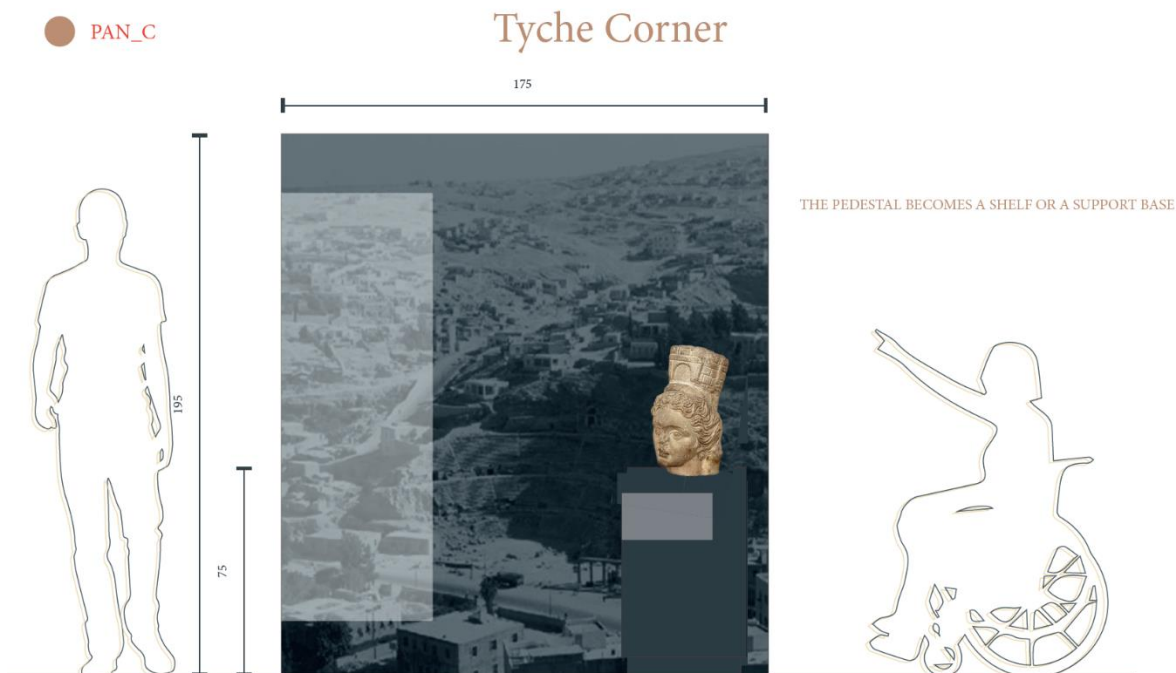


Figura 32 Mostra sul Teatro di Amman presso il museo delle Tradizioni Popolari. Pannelli informativi. (Fonte: Amoroso, Carioni, 2023).



Figura 33 Prototipo digitale della testa di Tyche, modello poligonale e modello texturizzato, (Fonte: Amoruso, Manti, 2023)

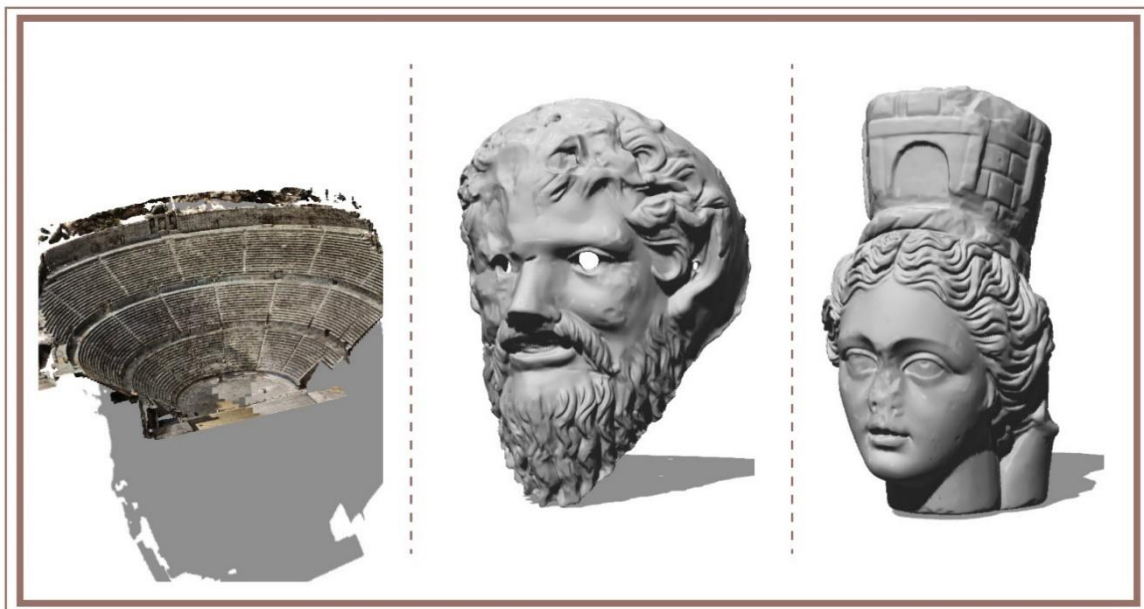


Figura 34 Prototipi della cavea, della maschera greca e della testa di Tyche, studi preliminari alla musealizzazione, (Fonte: Amoruso, Manti, 2023)

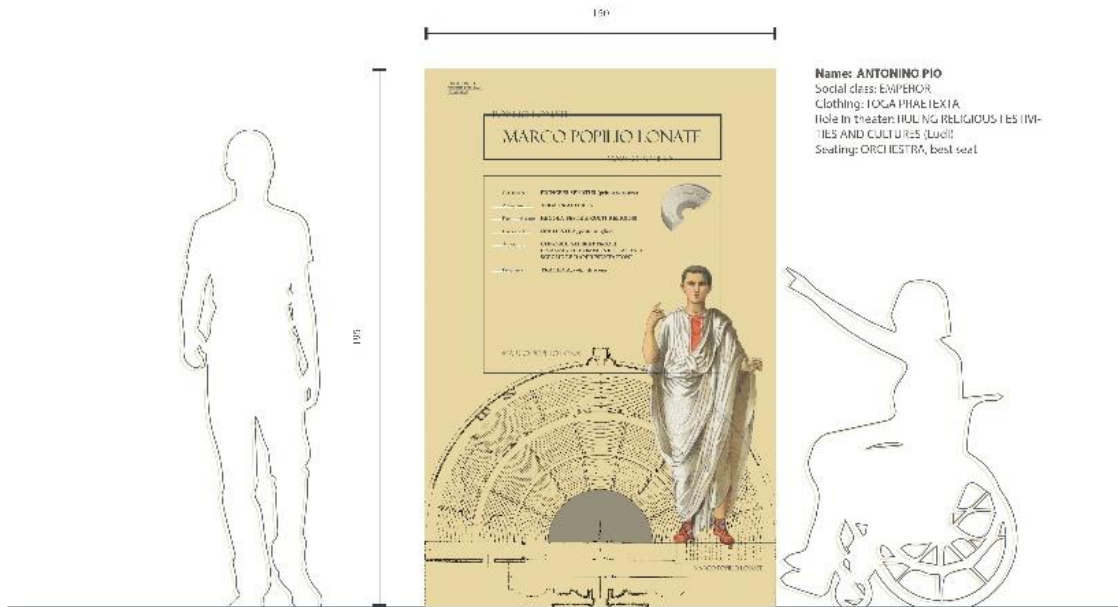


Figura 29 Mostra sul Teatro di Amman presso il museo delle Tradizioni Popolari. Pannelli informativi. (Fonte: Amoruso, Carioni, 2023).

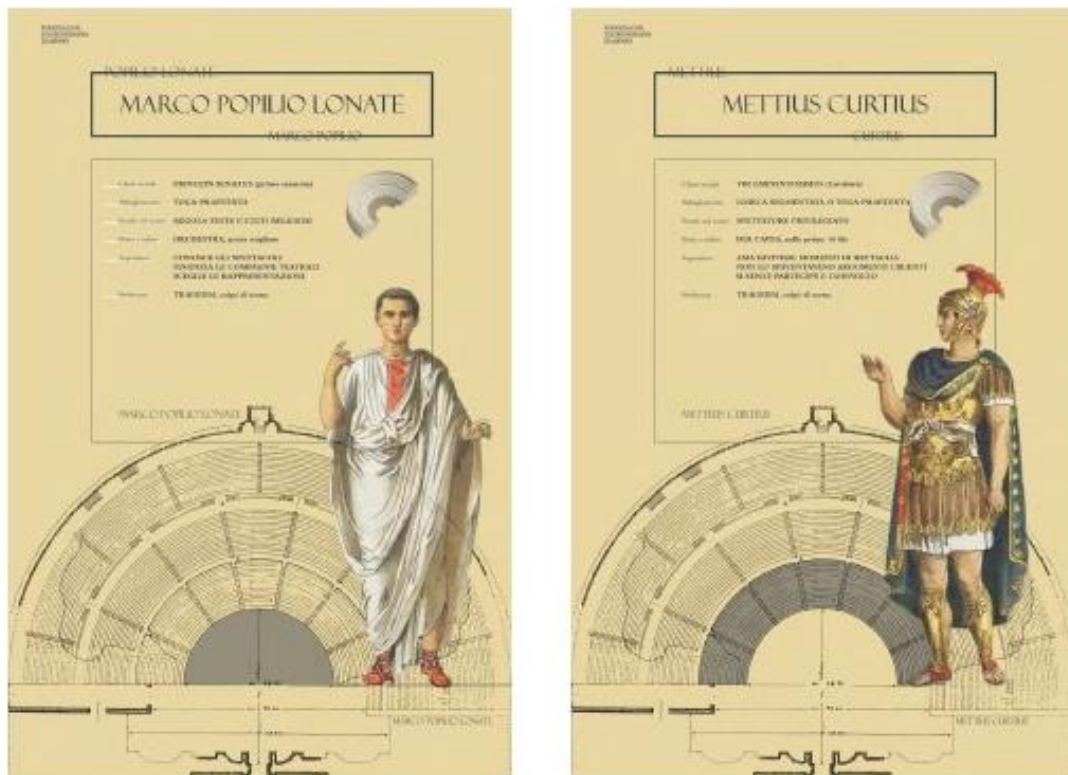


Figura 30 Pannelli personas (Fonte: Carioni C.)



Figura 31 Processo di creazione stampa 3d della timeline e della cavea (Fonte: Mironenko, 2023)

Una postazione multimediale contiene un applicativo multimediale interattivo, tipo *flipbook*, basato su una comunicazione principalmente non verbale con ampio uso di immagini, illustrazioni, schemi geometrici e rappresentazioni che permettono una esperienza digitale arricchita anche dalla possibilità di ascoltare e interagire con gli oggetti visualizzati sul totem multimediale.

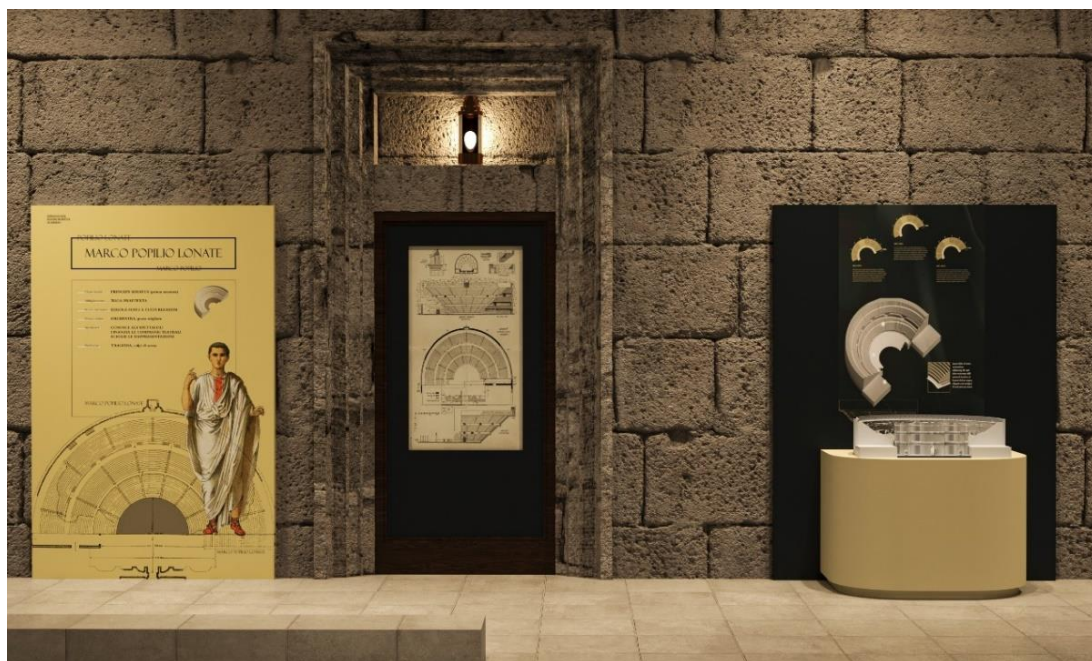


Figura 32 Prototipo digitale: modello tattile della cavea, totem multimediale, pannello personas. (Fonte: Mironenko, 2023)

4. Simulare l'esperienza immersiva in ambiente *game engine*

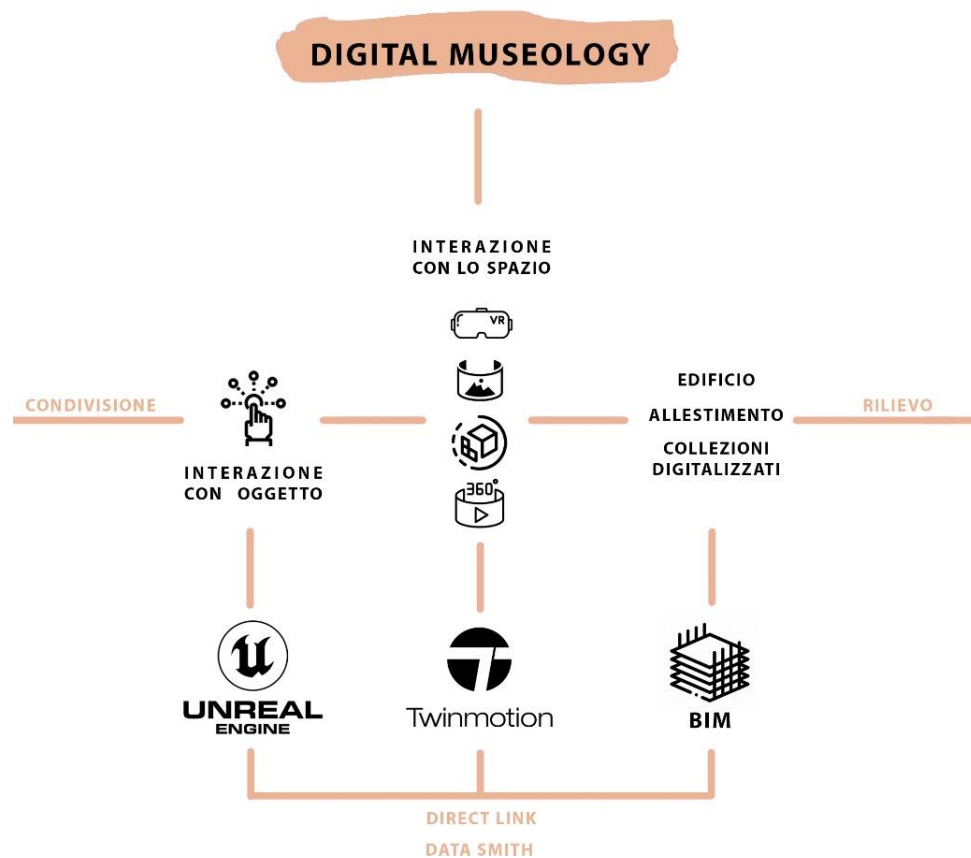


Figura 33 Quadro logico della simulazione con i game engine per creare un allestimento museale.
(Fonte: Mironenko, 2023)

Gli applicativi di *game engine* sono stati progettati per realizzare ambienti virtuali dove simulare esperienze immersive complesse. In alcuni casi l'obiettivo è stato proprio di creare un intero museo virtuale¹¹⁸; il termine *Virtual Museum* fu usato per la prima volta da Tsichritzis e Gibbs introducendo un processo progettuale finalizzato a realizzare un museo interamente virtuale per immaginare percorsi di visita ed esperienze scollegate da quelle reali e da studiare in totale indipendenza rispetto alla visita tradizionale. Lo standard in uso inizialmente prevedeva l'adozione del codice *Virtual Reality Modeling Language* (VRML), di maggiore complessità operativa per realizzare ambienti virtuali e visualizzare modelli provenienti dai softwares CAD. Rispetto alla programmazione di codici, l'introduzione dei *middleware* di *game engine* ha permesso di semplificare lo sviluppo di applicazioni per il settore del design e di conseguenza anche per quello museale; l'interfaccia fornisce un ambiente familiare ed intuitivo che non richiede notevoli risorse per l'hardware.

¹¹⁸ Tsichritzis D., Gibbs, S. 1991. Virtual museums and virtual realities. In: *Proceedings of the International Conference on Hypermedia and Interactivity in Museums*, Pittsburgh, PA.

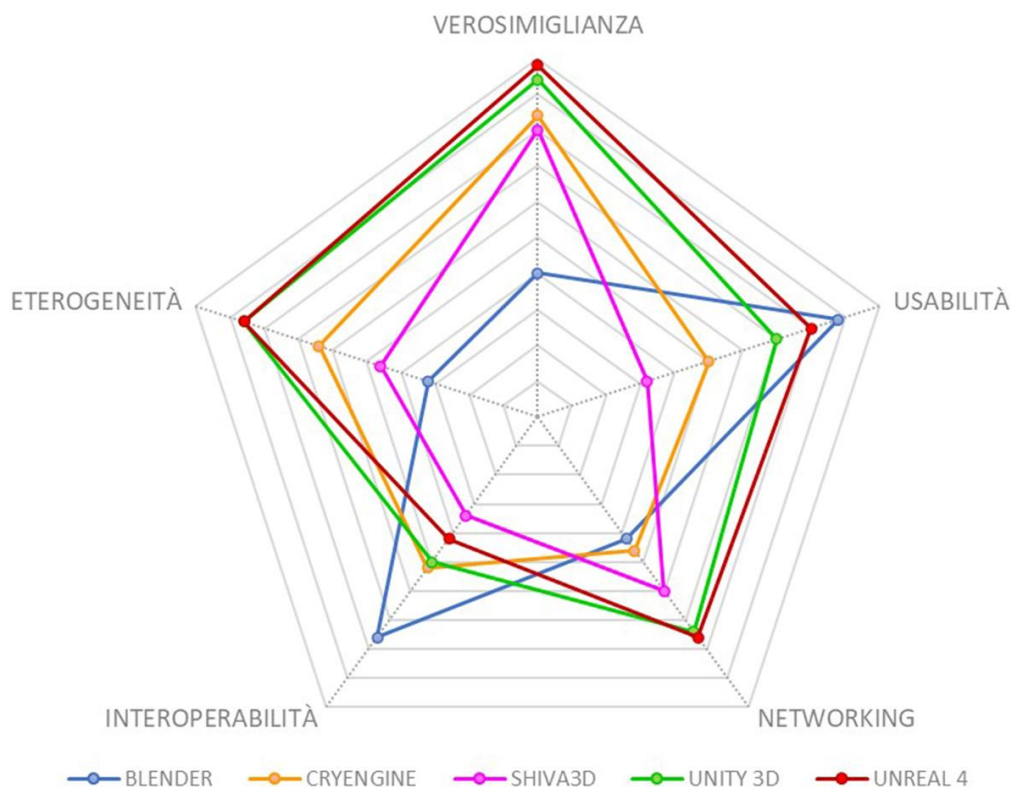


Figura 34 Valutazione comparativa dei principali middleware di game engine. (Fonte: Amoruso, Buratti, 2022).

I vantaggi dei motori di gioco sono stati ben documentati in numerose pubblicazioni e le applicazioni si sono via via indirizzate a sperimentare procedure per minimizzare il divario tra l'utente esperto e quello inesperto, introducendo strumenti operativi come le interfacce grafiche utente (GUI) che velocizzano lo sviluppo di un museo virtuale. Nella sperimentazione qui presentata un obiettivo è stato quello di selezionare un ambiente di sviluppo dove gli interlocutori progettuali, curatori, progettisti, responsabili istituzionale ma anche visitatori e insegnanti, possano familiarizzare con una risorsa preziosa nel mondo professionale e progettuale e che può essere al servizio degli utenti. L'obiettivo è la progettazione di una mostra multimediale per coinvolgere la più ampia platea di visitatori con una visita interattiva del Teatro. Dal punto di vista del *designer* è essenziale creare un sistema progettuale integrato che permette a tutti i livelli di expertise di poter partecipare più agevolmente al progetto di un museo contemporaneo, inclusivo, accessibile e divertente nel suo compito di trasferire conoscenza alle generazioni del futuro. A tal fine, introdurre una nuova mostra dovrebbe essere a procedura semplice e di facile esecuzione. L'obiettivo è sperimentare uno strumento virtuale basato su un motore di gioco commerciale ma disponibile anche in modalità *educational* che consente la creazione di ambienti e installazioni museali non puntando esclusivamente su una elevata capacità di programmazione potendosi dedicare maggiormente alla progettazione dei contenuti, alla loro visualizzazione e allo studio del rapporto tra storytelling, interazione e prodotti

multimediali, ambito disciplinare della tesi. La sperimentazione ha coinvolto principalmente i curatori di musei ed i responsabili istituzionali del *Department of Antiquities* giordano potendo far parte di un team di ricerca e sviluppo del Politecnico di Milano che ha potuto lavorare per diversi obiettivi di cooperazione culturale.

Dopo aver esaminato le caratteristiche di diversi motori, sia commerciali che open source, per la sperimentazione è stato scelto il *game engine* Twinmotion, parte di Unreal Engine¹¹⁹. Gli altri presi in considerazione sono stati: Blender, Unity, CryEngine e Shiva3D. Per la modalità di valutazione e selezione si è fatto riferimento alla valutazione comparativa di applicativi Game Engine per la valorizzazione del patrimonio culturale effettuata da Amoruso e Buratti¹²⁰

Blender è lo strumento con la minor performance audiovisiva e il meno dotato di funzionalità, unico modellatore tridimensionale tra gli applicativi esaminati evita conversioni di formato. Shiva consente un notevole supporto audiovisivo e modulo di simulazione della fisica robusto e affidabile. Richiede però una solida base informatica. CryEngine è simile a Shiva ed ha una maggior gestione degli output, supportando console, dispositivi mobile e computer.

I parametri di confronto sono stati: verosimiglianza, usabilità, networking, interoperabilità ed eterogeneità. Unity e Unreal Engine sono gli strumenti più versatili, hanno un'ampia community di sviluppo e supportano efficacemente un gran numero di piattaforme di utilizzo, Unity si caratterizza per applicazioni in uscita mediamente più portatili, indicati sicuramente per applicazioni web e mobile; Unreal valorizza maggiormente gli ambienti immersivi per applicazioni di AV o RV. Considerando l'utilizzo a fini di ricerca, divulgazione e valorizzazione Unreal Engine include il linguaggio di programmazione visiva (Blueprints) che facilita la prototipazione senza richiedere competenze di programmazione avanzate. Sebbene non sia un software *open-source* secondo la definizione più rigorosa del termine, se non utilizzato ai fini commerciali è disponibile gratuitamente, facilitando i progetti scientifici a budget contenuto.

I *game engine* di ultima generazione offrono diverse opzioni per importare i dati, tra cui la possibilità di importare modelli 3D direttamente dal software di progettazione (BIM e CAD) nonché la capacità di importare nuvole di punti acquisite tramite scanner laser 3D o da fotogrammetria (structure-from-motion). Nel caso di studio è stato importato direttamente il modello BIM del museo con le librerie dell'allestimento integrate e che includono pannelli, espositori, corpi illuminanti e materiali¹²¹. Inoltre, sono stati importati oggetti

¹¹⁹ Sviluppato nel 1988 da Epic Games nel corso degli anni ha esteso la compatibilità a numerose piattaforme, permettendo l'implementazione di qualsiasi genere di simulazione (incluse le applicazioni 2D).

¹²⁰ Amoruso, G., Buratti, G. 2022. Game engine: valutazione comparativa per una teoria d'utilizzo nel campo del Digital Heritage. In Building Information Modeling, Data & Semantics, Cecilia Bolognesi, Massimiliano Lo Turco (a cura di), n.10/2022, DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile, 2022, p. 119-135.

¹²¹ Grazie al plug-in Datasmith è stato possibile passare direttamente dal software BIM alla scena di render real-time di Twinmotion.

3D nel formato OBJ del teatro, ad esempio la testa della dea *Tyche*, e la maschera da tragedia, riprodotte da scansione diretta presso il Museo Archeologico della Cittadella di Amman¹²². Tutte le modifiche successive operate nel software BIM sono automaticamente aggiornate in tempo reale nella scena grazie alle funzionalità Direct Link di ArchiCAD. Inoltre, l'ambiente di *game engine* supporta la suddivisione del modello in componenti separati, l'assegnazione di materiali e texture, e le gerarchie logiche delle librerie.

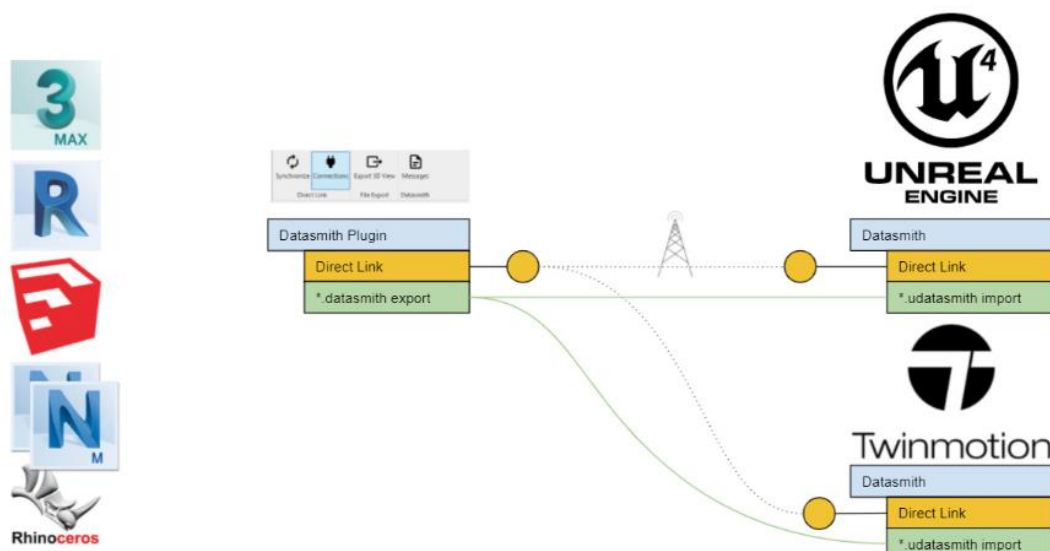


Figura 4135 Datasmith Direct Link consente a più applicazioni di origine di connettersi a una o più destinazioni. (Fonte: epicgames.com).

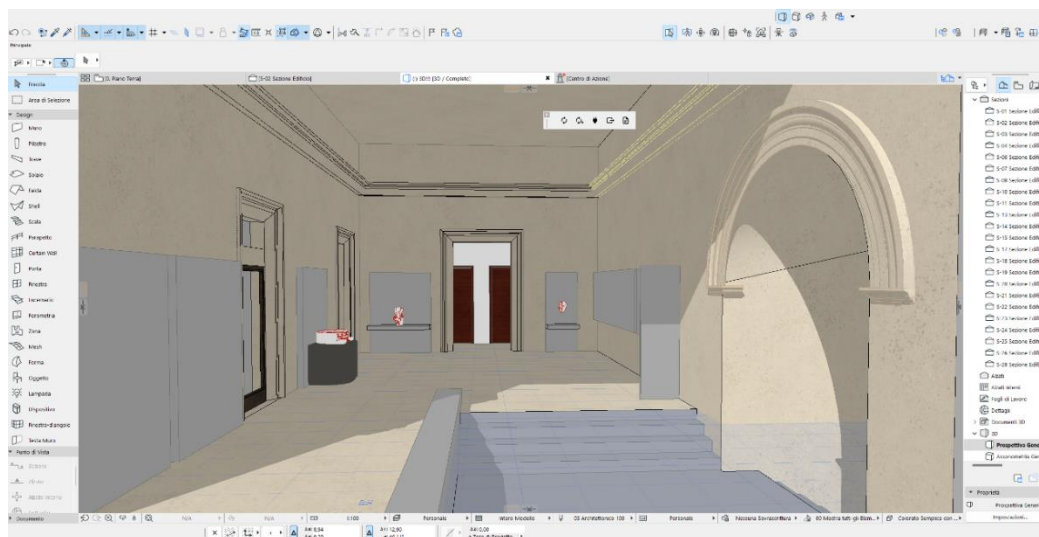


Figura 42 Modello BIM in ambiente ArchiCAD prima del collegamento esterno con il game engine (Fonte: Mironenko, 2023).

¹²² Nuvole di punti di questi oggetti sono state acquisite tramite scanner laser 3D Artec Eva.



Figura 4336 Datasmith Direct Link tra ArchiCAD e Twinmotion. (Fonte: Mironenko, 2023)

La creazione e gestione di materiali realistici e l'illuminazione accurata sono elementi fondamentali per ottenere risultati convincenti in Twinmotion. Il software offre strumenti avanzati per la creazione e l'assegnazione di materiali, nonché per la regolazione delle luci naturali e artificiali¹²³.

Il rendering in tempo reale è una delle caratteristiche più potenti di Twinmotion, consentendo agli utenti di visualizzare istantaneamente le modifiche apportate al modello e migliorando l'efficienza del processo di progettazione. L'applicazione più evidente di Twinmotion nell'architettura è la visualizzazione immersiva. Utilizzando dispositivi VR come l'Oculus Rift o l'Oculus Quest, gli architetti possono creare esperienze immersive per esplorare i loro progetti. Questo approccio offre una comprensione spaziale straordinaria e consente di valutare l'ergonomia degli spazi. I risultati ottenuti attraverso l'applicativo di *game engine* Twinmotion sono:

Visualizzazioni in render real-time, permette di visualizzare e verificare lo spazio e scelte progettuali;

Virtual tour della mostra. La funzione *set panoramico* è stato possibile creare un tour virtuale della mostra;

VR ambientale, che ci permette di immergersi nello spazio allestitivo, verificare le soluzioni progettuali, ma anche simulare la visita attraverso l'interazione.

¹²³ Inoltre, è incluso l'accesso integrato a Quixel Megascans, la più grande libreria al mondo di scansioni di alta qualità, e a oltre 660.000 risorse gratuite su Sketchfab, il popolare sito web della piattaforma di modellazione 3D.

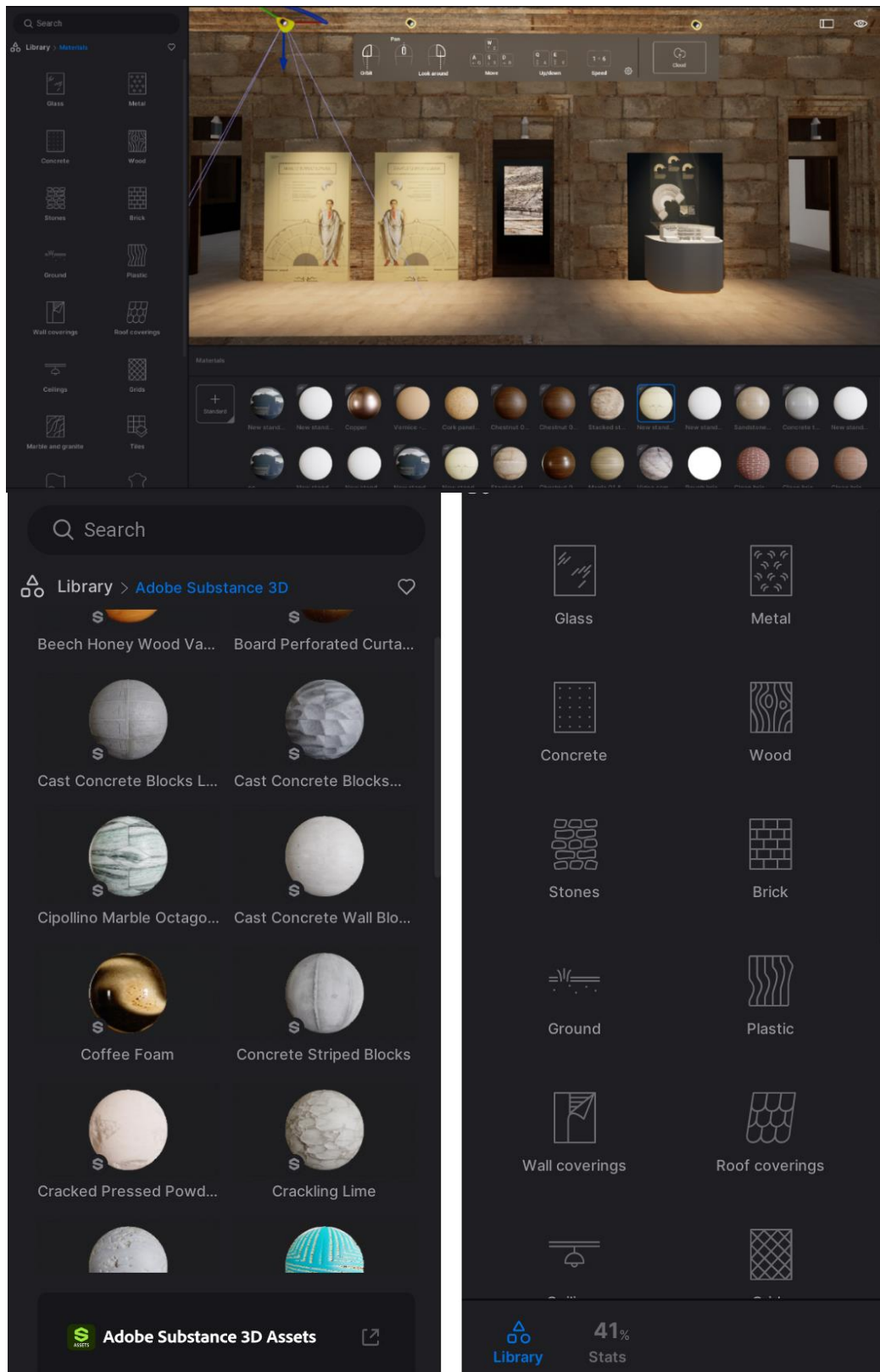


Figura 37 Biblioteche interne ed esterne nell'ambiente game engine Twinmotion per creare l'allestimento museale. (Fonte: Mironenko, 2023)

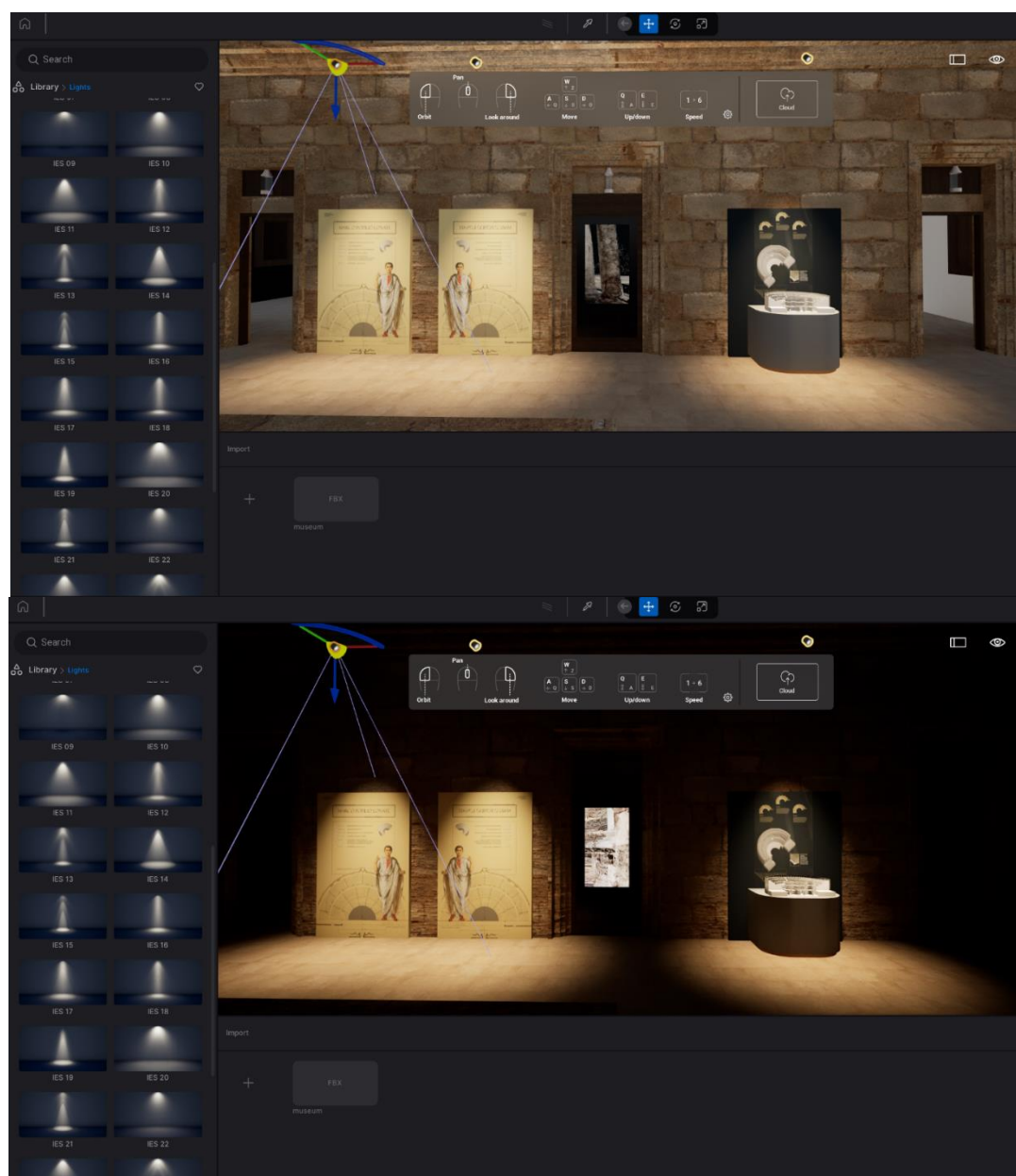


Figura 38 Biblioteca delle sorgenti per la progettazione illuminotecnica nell'ambiente game engine Twinmotion per creare e verificare scenario illuminotecnico dell'allestimento museale (Fonte: Mironenko, 2023)

Questi prodotti consentono di interagire con lo spazio, verificare allestimento, materiali e pannelli, lo scenario di illuminazione e le sue diverse configurazioni, condividere contenuti online come ad esempio un tour virtuale. Per approfondire il concetto di interattività e la creazione di esperienza interattiva con gli oggetti digitali, come totem e desktop con contenuti multimediali, bisogna passare ad un livello più avanzato di simulazione ricostruendo l'intero ambiente tramite l'applicativo Unreal Engine¹²⁴.

¹²⁴ Per tale scopo è stato sviluppato da Epic Games il plug-in Datasmith Twinmotion Importer, che consente di avviare un progetto in Twinmotion e finirlo in Unreal Engine in modalità di rappresentazione fisico-ambientale.



Figura 39 Prototipo digitale dell'allestimento per il Teatro Romano, timeline ed evoluzione del sito e modello tattile della cavea (Fonte: Mironenko, 2023)



Figura 40 Prototipo digitale dell'allestimento per il Teatro Romano, timeline ed evoluzione del sito e modello tattile della cavea (Fonte: Mironenko, 2023)



Figura 41 Prototipo digitale dell'allestimento per il Teatro Romano, timeline ed evoluzione del sito e modello tattile della cavea (Fonte: Mironenko, 2023)



Figura 42 Panorama, generata nell'ambiente game engine Twinmotion dell'allestimento per il Teatro Romano (Fonte: Mironenko, 2023)

PARTE IV.

Conclusioni.

Questo capitolo ripercorre il percorso critico di ricerca documentando la trasformazione in atto e considerando i prodotti ed i servizi digitali che il *digital museum* può offrire per una adeguata attività culturale. Dalla mera visita, spesso limitata spazialmente e temporalmente, le ricerche sociali e quelle sulle tecnologie museali pongono la questione dell'esperienza e della partecipazione, un fronte che interessa anche il design, la comunicazione e i prodotti collegati.

Una nuova fruizione interattiva, universale, flessibile che va incontro alle diverse aspettative sia delle comunità attorno al museo che del visitatore, sempre più turista culturale, nativo digitale, attivista e creativo. La tesi conclude la sua traiettoria principalmente sperimentale presentando infograficamente le buone pratiche, i media e i servizi digitali per il museo del futuro.

1. Raccomandazioni per la fruizione digitale e interattiva dei musei

La trasformazione digitale in atto ha indotto un cambio di paradigma per l'intero settore culturale, ad esempio sollecitando la produzione di contenuti multimediali professionali per il settore museale; è il caso della creazione del video gioco *Father and Son*, realizzato per conto del Museo Archeologico Nazionale di Napoli, da Fabio Viola. "L'obiettivo è di avvicinare il gioco alla comprensione scientifica del nostro patrimonio e i musei al linguaggio universale del videogioco". Sicuramente la pandemia ha influito sui processi di digitalizzazione che erano già in atto nelle istituzioni culturali a diverso livello e secondo gli auspici dell'ICOM¹²⁵. Alcune si sono limitate a trasformare con i nuovi media soggetti e installazioni originariamente concepite per l'analogico, un esempio per tutti la possibilità di essere guidati, in tour virtuale, dal curatore. Ma la tendenza in atto è oramai inarrestabile, un divario da colmare è proprio la creazione di una nuova offerta di prodotti ed esperienze nate direttamente in digitale ma da integrare con la visita tradizionale. La ricerca applicata alle nuove modalità di visualizzazione dei dati è essenziale per il mondo produttivo e culturale grazie anche alla possibilità di utilizzare dati digitali a velocità sempre maggiori¹²⁶. Le tecniche di progettazione dell'interazione e di visualizzazione si basano in larga parte sulle metafore visive sviluppate più di dieci anni fa: grafici dinamici, tabelle, mappe e trame¹²⁷. Il videogioco culturale più famoso e scaricato del momento è italiano, ha ottenuto circa 5 milioni di download ed il museo Mann di Napoli ha ottenuto un milione di visitatori in più in tre anni; *Father and Son* si può giocare da casa ma, una volta giunti al museo, l'applicazione sblocca contenuti aggiuntivi che rendono la visita interattiva.

La ricerca ha dedicato quindi spazio al concetto di museo digitale immaginandone un futuro dove ambienti ed installazioni possano essere concepiti con la stessa logica; se la priorità è conservare la rilevanza dei musei e di rinnovarla con un maggiore coinvolgimento delle comunità e dei visitatori, le strategie museali, i processi di trasformazione vanno allineati alle aspettative culturali che oggi passano anche per i comportamenti del pubblico sempre più abituato al digitale.

Per il pubblico contemporaneo, sempre più immerso nel web, un'esperienza digitale non è inferiore, meno autentica o sostitutiva di un'esperienza fisica. È semplicemente un'esperienza diversa. È responsabilità dei professionisti dei musei studiare, analizzare e testare tale differenza e determinare il modo migliore per sfruttare le opportunità che offre per soddisfare in modo più

¹²⁵ <https://www.icom-italia.org/gruppo-ricerca-digital-cultural-heritage/> (accesso 10 Settembre 2023)

¹²⁶ Horizon Report: Museum Edition, 2010-2016. <https://library.educause.edu/resources/2016/1/horizon-report-museum-edition-2010-2016> (2010). (accesso 10 Settembre 2023)

¹²⁷ Keim, D.A., et al. (2008). Visual Analytics: Definition, Process, & Challenges. *Information Visualization: Human-Centered Issues and Perspectives*, p. 154–175. Springer-Verlag, Berlin.

efficace gli obiettivi delle nostre istituzioni.

Quali quindi le nuove prospettive di ricerca nel settore dei musei e della cultura digitale in un'epoca in cui le tecnologie di nuova generazione si stanno diffondendo rapidamente; intelligenza artificiale, realtà aumentata, realtà virtuale, visione artificiale daranno sicuramente impulso a quel tasso di digitalizzazione del nostro mondo registrato dal *The Digital Economy and Society Index (DESI)*¹²⁸.

Nelle parole di Tula Giannini del Pratt Institute di New York “siamo tutti studiosi della digitalizzazione” ed è quindi il momento di dotarsi di quegli strumenti necessari per dare un senso a quel futuro, a quella cultura di massa che sta cambiando le nostre società.

I musei stanno assumendo nuovi ruoli e responsabilità legati a nuovi obiettivi per coinvolgere il pubblico, trasmettere significato attraverso le collezioni, creare esperienze di apprendimento e, soprattutto, connettersi alla vita digitale quotidiana e alla cultura parte integrante dell'ecosistema museale. I loro spazi vanno concepiti come ambienti versatili e di condivisione, delle porte che aprono percorsi di conoscenza, interessi pratici, attività di crescita scolastica in un'ottica collettiva e di comunità, e non solo come convenzionalmente le istituzioni avevano incentrato la visita alla collezione centrata sul rapporto utente/visitatore. I casi di studio analizzati mostrano musei, installazioni e progetti che mettono in pratica nuove direzioni, indicano una visione dei musei nei quali si realizza l'integrazione della cultura digitale, dell'esperienza del visitatore e della partecipazione nello spazio reale e virtuale.

Attraverso conversazioni mediate da siti web, social media e collezioni online, i musei vanno oltre le proprie mura propongono podcast ma anche interagiscono con le voci del loro pubblico promuovendo una maggiore diversità e inclusione. Il nuovo ecosistema digitale nel quale realizziamo quotidianamente la connessione con cose, servizi e persone ci sta traghettando verso un futuro post-digitale e l'Internet delle cose; il superamento della divisione tra fisico e digitale, la loro integrazione risultano le sfide dopo l'esperienza pandemica. Rimangono diffusamente i problemi con il pubblico e i visitatori dei musei in un contesto digitale e virtuale che registra disparità geografica fra centro e periferie, tra luoghi del turismo globale e territori caratterizzati dal turismo di prossimità. L'interazione e la partecipazione reale e digitale sono tutti aspetti importanti che i musei devono considerare. I visitatori/utenti potenziati dalla tecnologia digitale, in particolare dagli smartphone, hanno nuove aspettative di coinvolgimento. È necessario che i musei trasmettano significato, coinvolgano i visitatori e riflettano la coscienza e la consapevolezza sociale. I musei di qualsiasi dimensione devono avere programmi di sensibilizzazione, diversità, inclusione e interazione con la comunità. Proprio come gli stati dell'essere e l'identità digitali stanno cambiando il comportamento dei visitatori e riformulando l'identità e gli stati d'essere dei musei per aprirsi a nuovi modi di pensare al mondo e ai suoi stati

¹²⁸ Dal 2014 la Commissione europea monitora i progressi digitali degli Stati membri attraverso i rapporti del Digital Economy and Society Index (DESI). <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>

dinamici di evoluzione della coscienza sociale e culturale¹²⁹.

Questa tesi parte dalla considerazione che i musei, tradizionalmente, si sono sempre identificati con il loro spazio fisico come un luogo specifico ed immutabile nel tempo e nello spazio; ora concettualmente possono estendere il loro dominio culturale fino al cyberspazio, avendo conquistato un'identità digitale, ma anche trasformando l'esperienza fisica, nel luogo, oltre lo spazio fisico. Nel 1889, il curatore dello Smithsonian Institute George B. Goode tenne una conferenza anticipatrice intitolata "Il futuro del museo" in cui prevedeva che un giorno il museo sarebbe stato "fianco a fianco con la biblioteca e il laboratorio"¹³⁰. Proprio con l'avvento di Internet, a partire dalla metà degli anni Novanta sono emerse le opportunità per i siti web delle collezioni pubbliche di diventare una controparte virtuale del museo fisico. In quanto istituzioni culturali pubbliche, la missione primaria di gallerie, biblioteche, archivi e musei è quella di fornire ai cittadini conoscenze non solo sulle loro collezioni e sui materiali del patrimonio culturale, ma anche attraverso di esse¹³¹.

Nel 1867 Henry Cole, direttore e fondatore del Victoria and Albert Museum, presentò il documento 'Convenzione per promuovere universalmente la riproduzione di opere d'arte' con lo scopo di avviare una produzione di copie di opere d'arte a beneficio dei principali musei del tempo. L'obiettivo era quello di avvicinare la gente alla cultura in un'epoca in cui viaggiare aveva dei costi ancora proibitivi.

Nel 1865, John Charles Robinson, primo curatore dell'allora South Kensington Museum, attuale V&A, immaginava che i musei, assumendo un nuovo ruolo, potessero trasformare i visitatori in intenditori, permettendo una esperienza che superasse la convenzione di esporre le collezioni secondo esclusivi principi catalografici o enciclopedici.

Anticipava la '*Raccomandazione sulla protezione e la promozione dei musei e delle collezioni*, la loro diversità e il loro ruolo nella società' (UNESCO, Parigi, 2015) e l'importanza che i musei assolvano ad alcune funzioni primarie, tra cui la conservazione, la ricerca, la comunicazione e l'educazione. Robinson, al termine di un lungo viaggio in Europa, valutò che fosse prioritario condividere la conoscenza di così tanti straordinari monumenti con un pubblico più vasto e pertanto oltre a comporre la collezione delle sculture italiane per il suo museo diede inizio al progetto di replicare i più importanti capolavori dell'arte non accessibili al pubblico inglese.

Nacque così l'idea di allestire la futura galleria dei calchi inaugurata da Cole nel 1873. Ma perché un museo doveva dotarsi di un analogo digitale o commissionare copie di parti delle sue collezioni? Come la copia o la riproduzione delle opere e delle collezioni può rappresentare attualmente uno strumento efficace per la sopravvivenza della cultura globale e futuro per la

¹²⁹ Giannini T. & Bowen J. P. (2019). *Museums and Digital Culture: New Perspectives and Research*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

¹³⁰ Goode, G. B. (1891). *The museums of the future*. Smithsonian Institution, p. 427.

¹³¹ Cameron, F., & Kenderdine, S. (2007). *Theorizing digital cultural heritage: A critical discourse*. MIT Press.

loro accessibilità e conservazione?

Queste domande oggi sono di attualità perché si rivolgono principalmente ai temi dell'inclusione, dell'apprendimento guidato e interattivo, alla possibilità di sviluppare applicazioni ludiche ma anche copie scientifiche delle collezioni per favorirne la conoscenza diretta e senza barriere.

Nel percorso di tesi numerosi sono state le sperimentazioni ed i prodotti realizzati, prototipi, infografie, installazioni e concepts, incontri di verifica e ore di elaborazione e calcolo per simulare degli ambienti storici così complessi come il Teatro Romano e gli edifici ad esso collegati.

La fase iniziale ha permesso di raggiungere la sufficiente consapevolezza per indirizzare le applicazioni sui metodi e sugli strumenti più opportuni; il settore museale ha fatto leva sul periodo di pandemia per moltiplicare la transizione digitale, non solo digitalizzazione ma crescita di competenze, introduzione di strategie e sviluppo di installazioni. Il principale obiettivo del percorso di ricerca è stata la simulazione avanzata degli spazi museali, a partire dal caso di studio, la modellazione geometrica è stata finalizzata a rendere gli stessi prodotti virtuali ipertestuali e interattivi. La metodologia applicata ha seguito il percorso disciplinare della rappresentazione di ambienti museali e, più in generale, al design degli ambienti dedicati all'apprendimento e alla cultura. Si è definita quindi la procedura di ideazione concettuale e lo sviluppo della filiera di progettazione e rappresentazione integrata a partire dal *Building Information Modelling* (BIM) e dalla possibilità di scambiare dati grazie all'interoperabilità tra i diversi software di simulazione per rappresentare, comunicare, verificare e interagire con un allestimento esperienziale, come nell'ipermodello BIMX rilasciato e condiviso, durante le riunioni di coordinamento, con lo staff del Popular Traditions Museum di Amman.

Le argomentazioni di tesi sono supportate da una serie di elaborazioni ed infografiche originali che sostengono lo sviluppo logico dei metodi presentati a vantaggio del monitoraggio del percorso di ricerca: le illustrazioni evidenziano i presupposti e le buone pratiche nel settore del *digital heritage*, introducendo i media e le relative metodologie e presentando la configurazione di quegli ambienti interattivi, inclusivi e digitalmente assistiti che dovranno caratterizzare il museo del futuro.

Con il museo simulato si porta la sperimentazione sui diversi livelli di: esperienza interattiva del Teatro Romano di Amman; la tesi descrive un'applicazione di realtà virtuale per la rappresentazione di un allestimento museale esperienziale progettato dal team di cooperazione del Politecnico di Milano (coordinatore e progettista Prof. Giuseppe Amoruso) per il caso di studio del Teatro Romano di Amman, un sito archeologico che comprende anche i due citati musei delle culture locali giordano-palestinesi-beduine, delle loro produzioni materiali e degli elementi culturali del patrimonio intangibile. Le tecnologie di *visual information* adottate a supporto della progettazione e della rappresentazione hanno permesso di rilasciare un modello dedicato all'esperienza immersiva degli interni museali. Dal modello sono state seguite

due strade: produzione di contenuti multimediali audiovisivi e applicazioni di realtà aumentata per la fruizione interattiva delle collezioni tramite allestimenti e installazioni. La sperimentazione di applicativi in uso nel settore del *gaming* ha permesso di verificare, tramite cicli iterativi di modellazione, rappresentazione e rendering *real-time*, l'accessibilità, l'interazione e la funzionalità complessiva dell'ambiente museale.

Questo capitolo conclusivo sintetizza le diverse applicazioni e traiettorie di sperimentazione raccogliendole idealmente in un "manifesto", uno strumento interattivo infografico per indirizzare la fruizione esperienziale delle collezioni museali, che presenta e descrive graficamente una serie di concetti e pratiche per l'accessibilità, la fruizione, l'interazione e la visualizzazione degli ambienti e delle collezioni. Il percorso critico della ricerca analizza infine il contesto sociale della trasformazione in atto considerando i prodotti ed i servizi digitali che il *digital museum* può offrire per una adeguata attività culturale inclusiva e partecipata. Il manifesto che si basa sull'uso di una applicazione tipo bacheca interattiva si fonda su alcune parole chiave e concetti che sono frutto del percorso di ricerca sui quali si riportano, in sintesi, alcune considerazioni.

Accessibilità

Conservazione e accessibilità agli artefatti culturali sono le strategie al fine di scongiurare la perdita del nostro patrimonio materiale ed intangibile. Copie e scansioni sono tra le soluzioni per ridurre il rischio di gravi perdite attraverso la produzione di testimonianze e nuova memoria, che offrono alternative ad un pubblico universale, globale e desideroso di vivere in prima persona l'esperienza culturale.

La crescente accessibilità agli strumenti tecnologici, le nuove metodologie di scansione, di fotogrammetria e stampa 3D offrono riflessioni e nuove pratiche di fronte alla minaccia sempre più incombente di distruzione e danneggiamento del patrimonio materiale globale. La mostra 'A World of Fragile Parts'¹³² ha proposto numerose questioni legate a legittimità, proprietà e materialità delle copie ma ha anche avviato una riflessione sull'innovazione percorribile per la conservazione, la promozione e l'esperienza democratica del patrimonio culturale. Il recente "furto artistico etico", protagonista il celebre busto di Nefertiti, esposto al Neues Museum di Berlino e di cui è rigorosamente vietato scattare anche solo fotografie. Gli artisti Nora Al-Badri e Jan Nikolai Nelles con il progetto 'The Other Nefertiti' (#Nefertitihack, 2015) hanno segretamente scansionato, tramite un sensore di una consolle di videogiochi, il busto per poi provocatoriamente "restituirlo" al pubblico, rendendolo disponibile su una piattaforma *open source*. Applicando i principi dell'*Universal Design* agli ambienti museali e agli allestimenti si possono ideare, verificare e realizzare soluzioni e installazioni tecnologiche che nella fase successiva della simulazione digitale possono essere visualizzate e collaudate.

¹³² Brendan Cormier, 2016. A World of Fragile Parts. Venezia: La Biennale di Venezia, the Victoria and Albert Museum. ISBN9781851779277

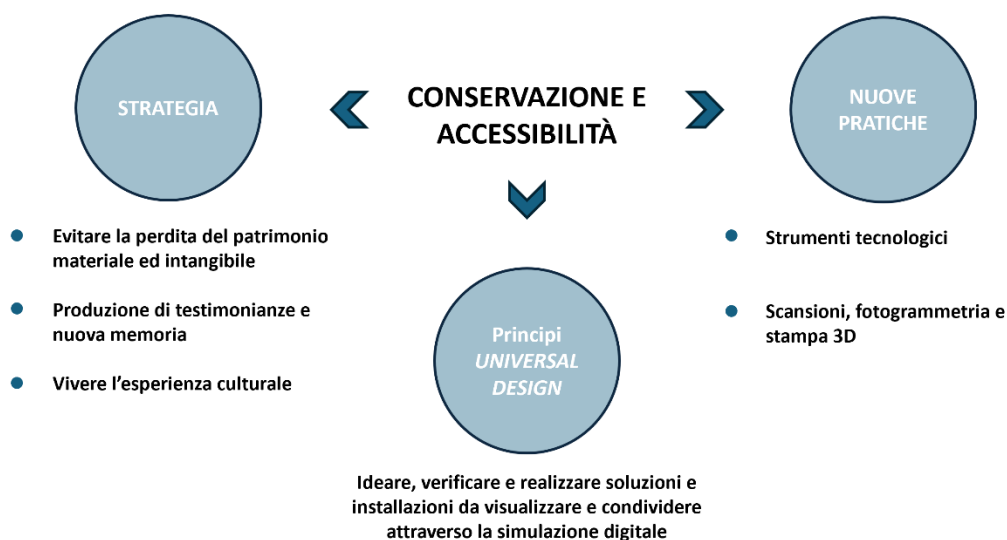


Figura 43 Rappresentazione del concetto conservazione e accessibilità (Fonte: Mironenko, 2023)

Digital Libraries: collezioni, oggetti sociali, *personas*

Il patrimonio culturale immateriale (ICH) come campo di ricerca e luogo di sforzi digitali è cresciuto in modo significativo a seguito del rilascio da parte dell'UNESCO della *Convenzione* del 2003 per la salvaguardia del patrimonio immateriale. A differenza del patrimonio tangibile, dove si trovano le identità culturali manifestate attraverso oggetti fisici, le espressioni culturali immateriali sono definite attraverso tacite dipendenze e pratiche incarnate.

Tali pratiche sono solitamente comunicate corporalmente, messe in atto, trasmesse socialmente e in continua evoluzione. Le strategie nel patrimonio computazionale e nelle applicazioni ICT hanno svolto un ruolo cruciale nella salvaguardia dell'ICH in quanto producono versatili risorse rendendole accessibili al pubblico. Tuttavia, la maggior parte delle invenzioni sono incentrate sugli oggetti e soddisfano conservazione delle basi di conoscenza basate sui materiali. Pochi sforzi finora hanno pienamente supportato la registrazione, la rappresentazione e rilancio della natura vivente di ICH.

Una delle sfide ora affrontate è trovare forme appropriate, insieme a metodi efficaci, per documentare l'effimero aspetti del patrimonio immateriale. Un altro ostacolo è costituito dalle modalità inefficaci per comunicare la conoscenza indissolubilmente legata ad essa persone. Nel corso del XX secolo, il concetto di patrimonio culturale si è sviluppato da manifestazione tangibile del passato a rappresentazione del paesaggio culturale¹³³ e dei valori culturali che possono interagire con la memoria. In questo senso, la memoria deve essere considerata il punto cardine su cui si costruisce l'identità della

¹³³ Amoruso, G., & Salerno, R. (2019). *Cultural Landscape in Practice: Conservation Vs. Emergencies*. Springer Nature.

comunità¹³⁴. Le ricerche si concentrano sul ruolo dello storytelling e degli archivi audiovisivi nel campo del design per ICH. Ciò comporta la concettualizzazione, la produzione e la presentazione di memorie digitali con e su media digitali, inclusi vari generi e formati. La Digital Library è un concept innovativo e si configura come archivio multimediale che fornirà una fonte organizzata di documentazione digitale in cui curatori e studiosi potranno trovare documentazione visiva e informazioni su tecniche, materie prime e strumenti di produzione per i principali mestieri tradizionali giordani. Alcuni contenuti saranno poi accessibili nei musei per migliorare l'esperienza in loco e creare punti di contatto interattivi per un pubblico più ampio.

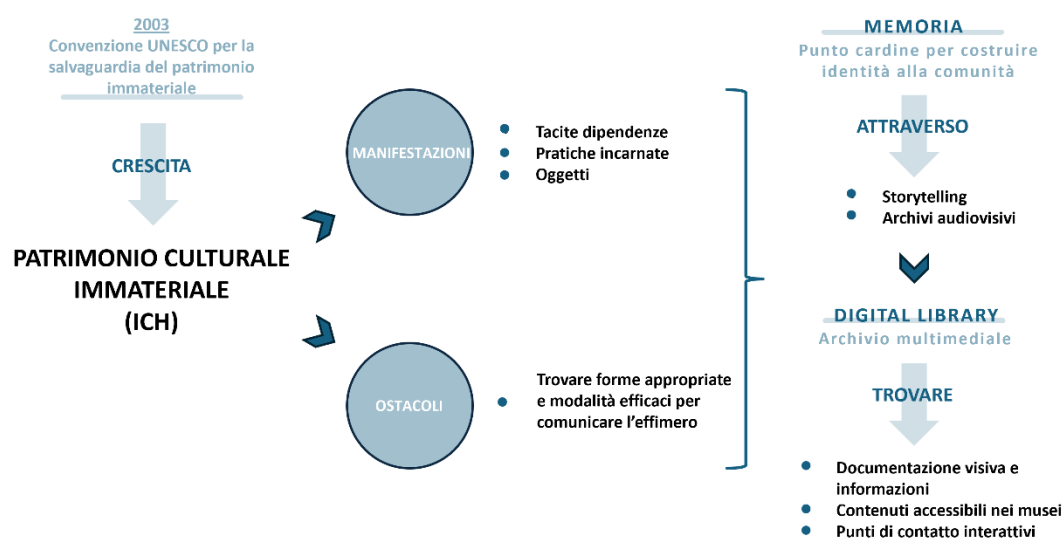


Figura 44 Rappresentazione del concetto ICH (Fonte: Mironenko, 2023)

Ricostruzioni 3D e repliche tattili

La crescente accessibilità agli strumenti tecnologici, le nuove metodologie di scansione, di fotogrammetria e stampa 3D offrono riflessioni e nuove pratiche di fronte alla minaccia sempre più incombente di distruzione e danneggiamento del patrimonio materiale globale. Da un lato la riproduzione a stampa 3D¹³⁵ per esperienza tattile dall'altro la realtà aumentata¹³⁶. Il tema dell'inclusione sta alimentando, in maniera sempre più estesa, il dibattito internazionale in relazione alla fruizione di beni artistici, architettonici e archeologici, soprattutto in ambito museale.

¹³⁴ Amoruso, G. (Ed.). (2017). Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design. Proceedings of 5th Intbau International Annual Event: Proceedings of 5th INTBAU International Annual Event. Springer Nature.

¹³⁵ Sdegno, A. (2018). Rappresentare l'opera d'arte con le tecnologie digitali: dalla realtà aumentata alle esperienze tattili. In: Luigini, A., Pancioli, C. Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio. Franco Angeli, p.256-271

¹³⁶ Sdegno, A. (2018). Augmented Visualization: New Technologies for Communicating Architecture. In: Rossi, M., Buratti, G. (eds) Computational Morphologies. Springer, Cham.

In particolare, di grande interesse è la comunicazione di opere – a differente scala e tipologia – ad un'utenza non vedente e ipovedente, superando barriere e vincoli imposti ancora oggi da numerosi musei che ne vietano la diretta interazione, e offrire alla comunità dei contenuti tattili interamente condivisibili e accessibili a chiunque, secondo i precetti del *design for all*.

La rappresentazione tattile di opere artistiche, tridimensionali e bidimensionali, necessita di uno studio specifico e approfondito degli utenti destinatari, dei limiti e delle potenzialità percettive del tatto, della definizione dell'immagine mentale delle opere riprodotte. Inoltre, è necessario riflettere anche su particolari esigenze materiche e di trattamento (percezione, usura, condizioni meteorologiche, contrasto cromatico per ipovedenti) anche a seconda della modalità di traduzione scelta (a rilievo, a bassorilievo, tridimensionale). La ricerca propone di creare una serie di mappe tattili di luogo, rappresentazioni bidimensionali a rilievo semplificate, utili all'orientamento e alla narrazione di elementi di pregio architettonico e contenuti artistici.

Qual è lo scopo della ricostruzione digitale dei monumenti perduti?

Insieme ad altri prodotti multimediali, la replica digitale degli edifici è portatrice di notizie incisive e altamente partecipative. Molte ricostruzioni di teatri sono disponibili online, una base di utenti ampia e diversificata, compresi visitatori di siti archeologici, musei e mostre, soprattutto negli ultimi anni, da utenti online più generici. Le immagini digitali permettono di comprendere in modo immediato, pratico, preciso ed evocativo i monumenti non più o solo parzialmente conservati. In questa situazione, i progettisti devono basarsi e fare riferimento alla *Carta di Londra* e ai *Principi Internazionali di Archeologia Virtuale*¹³⁷ per proporre metodi, contenuti e questioni comunicative definendo alcuni aspetti principali: le fonti utilizzate per la ricostruzione devono essere accessibili e definire quali strumenti tecnologici sono stati utilizzati; inoltre è necessario delineare le diverse ipotesi ricostruttive e indicare le diverse ipotesi ricostruttive

Finora, la *Carta di Londra* ha fornito regole, principi e linee guida; quindi, ha dato maggiore credibilità alle procedure di rappresentazione dell'archeologia virtuale. La *Carta di Londra*, infatti, comprende anche una raccomandazione sulla visualizzazione e ricostruzione digitale. In contrasto con gli artefatti nati digitali, alcuni altri hanno avuto origine dall'acquisizione e dalla modellazione 3D. Sono da considerarsi non come semplici copie virtuali ma come risorse per studiare, conoscere e raccontare aspetti prima non colti dello stesso reperto.

Nell'ambito di questa attività è stata inoltre rilasciata la *Carta di Siviglia*¹³⁸ che indirizza ulteriori attività e circoscrive gli obiettivi; generare criteri facilmente applicabili da parte dell'intera comunità scientifica e stabilire linee

¹³⁷ International Principles of Virtual Archaeology - The Seville Principles 2011: <http://smartheritage.com/sevilleprinciples/seville-principles>

¹³⁸ Bendicho V.M.L.M. (2013) International Guidelines for Virtual Archaeology: The Seville Principles. In: Corsi C., Slapšak B., Vermeulen F. (eds) Good Practice in Archaeological Diagnostics. Natural Science in Archaeology. Springer, Cham.

guida per dare al pubblico una migliore comprensione dell'attività archeologica. Promuovere l'uso responsabile delle nuove tecnologie per la gestione del patrimonio culturale e aprire nuove prospettive per le applicazioni dei metodi e delle tecniche digitali negli *heritage studies*.

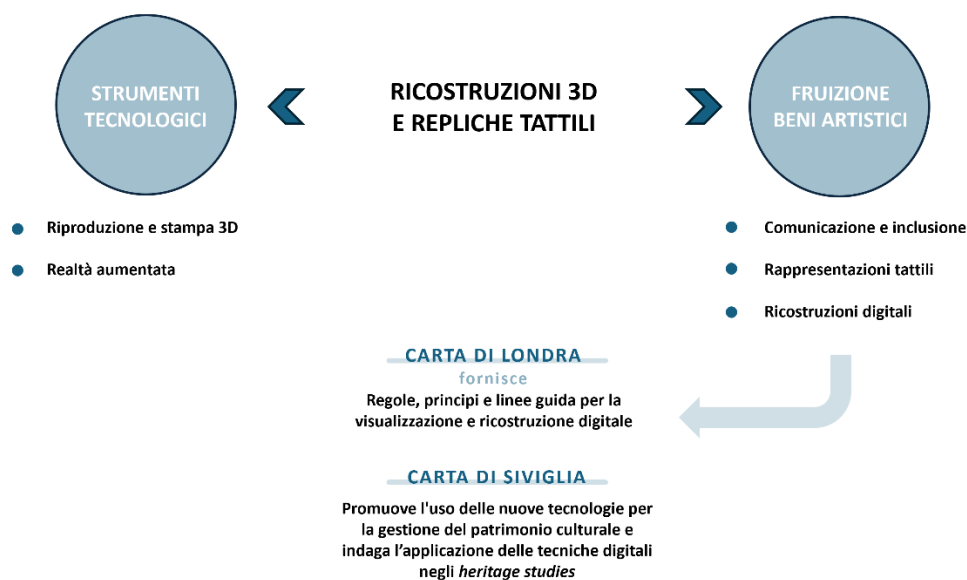


Figura 45 Rappresentazione del concetto ricostruzione digitale (Fonte: Mironenko, 2023)

Simulazione museale e allestimenti digitali

Attualmente, le tecniche interattive, immersive e collaborative per esplorare set di dati su larga scala mancano di un adeguato sviluppo sperimentale essenziale per la costruzione della conoscenza nel discorso analitico. La ricerca indirizza la visualizzazione a partire dalle fasi rilievo e acquisizione dati per superare le limitazioni della mera digitalizzazione o riproduzione digitale. I sistemi di visualizzazione su larga scala, tipo teatro virtuale o cave, sono sempre più focalizzati sulla rappresentazione efficace dei loro numerosi livelli di complessità a partire dai dati della modellazione 3D. Tuttavia, in generale, le opportunità offerte dalle tecnologie interattive e 3D devono ancora essere esplorate nel loro potenziale. L'esperienza del Teatro Romano indaga l'applicazione di metodologie digitali innovative alla ricerca archeologica per stimolare la percezione sensoriale dello spazio antico, urbano e architettonico. La sfida della ricerca è esplorare come i metodi digitali possano cogliere il significato sociale degli spazi attraverso una prospettiva multisensoriale (vista, udito, olfatto, tatto, gusto). Parallelamente alla composizione e al completamento dei diversi modelli di rappresentazione, -progettuale, allestitivo e comunicativo- è stato sviluppato uno specifico flusso di lavoro fino alla simulazione, finalizzandola alla parte curatoriale così come alla necessità di verifica in corso d'opera da parte degli utenti finali. Ogni passaggio è associato al completamento di finalità legate ai modelli di rappresentazione, diventando un serbatoio per tutte le informazioni riguardanti la ricostruzione del Teatro, la multimedialità tra stampe tattili e

applicazioni interattive, la storia passata ma anche la riappropriazione di un sito percepito come qualcosa di estraneo nel contesto urbano contemporaneo.

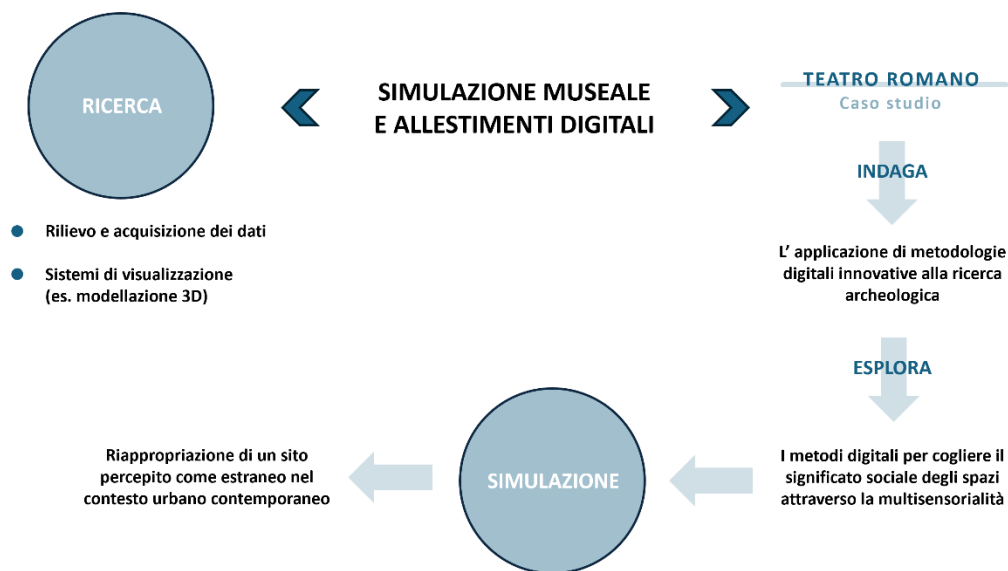


Figura 46 Rappresentazione del concetto simulazione museale e allestimenti digitali
(Fonte: Mironenko, 2023)

Esperienza. Partecipare, ri-attivare, raccontare

Il potenziale delle pratiche computazionali all'interno dei domini archivistici e museologici sta tracciando un cambiamento di posizione che si verifica negli archivi digitali; dal lavoro con orientamento e contenimento agli oggetti, all'elaborazione con orientamento dimensionale, segmentazione, analisi e visualizzazione. La museologia computazionale ci consente di concepire nuove traiettorie che collegano tutte le forme di materialità culturale: oggetti, sistemi di conoscenza, rappresentazione e partecipazione¹³⁹.

La visualizzazione delle collezioni del patrimonio culturale è iniziata a metà degli anni '90, quando la ricerca nel settore delle *humanities* ha cercato di espandere le possibilità descrittive e analitiche dei dati superando il concetto del semplice inventario.

La visualizzazione come approccio sperimentale è tuttavia unica nel suo potenziale per sostenere tutti i tipi di spazi di apprendimento informale e le applicazioni sperimentali di rappresentazione e comunicazione hanno il potenziale per aprire la strada ad un nuovo dominio museologico da esplorare sia all'interno che all'esterno delle mura fisiche e istituzionali.

La collaborazione tra le discipline delle *digital humanities* e le arti elettroniche sulla visualizzazione della cultura materiale e l'uso dei metodi di

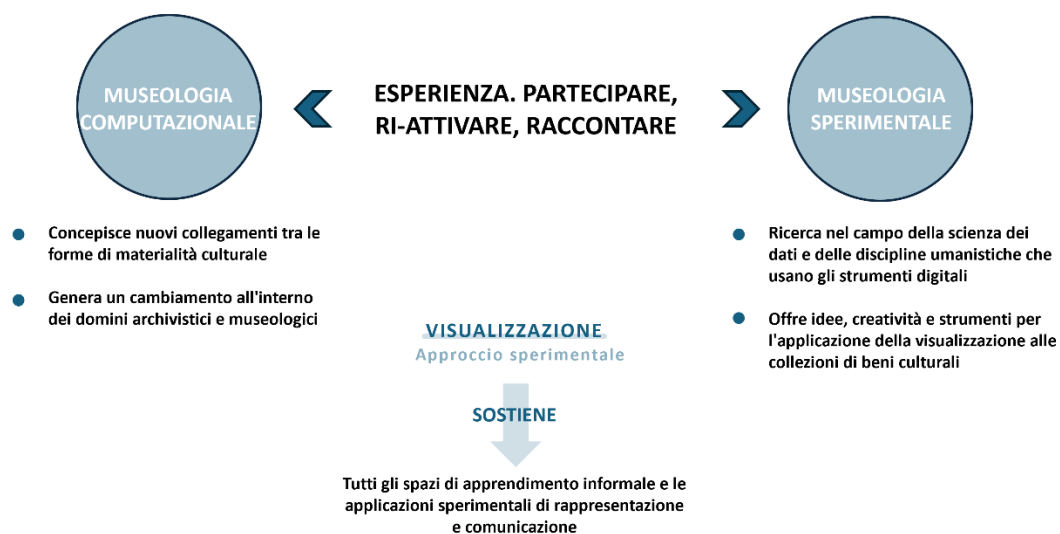
¹³⁹ Kenderdine, S., Mason, I., Hibberd, L. (2021). Computational Archives for Experimental Museology. In: Shehade, M., Stylianou-Lambert, T. (eds) *Emerging Technologies and the Digital Transformation of Museums and Heritage Sites*. RISE IMET 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1432. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83647-4_1

computazione, magari per la rappresentazione di quella parte di patrimonio che non ha una espressione fisica preponderante, sono ancora molto limitati o non regolamentati.

Delineando la capacità della visualizzazione come strumento di risposta critica, Drucker indirizza un cambio di paradigma, propone uno spostamento dall'idea che l'interfaccia sia un oggetto verso il suo essere il luogo di attività interpretative, indicando ad esempio caratteristiche forensi come la materialità distribuita, la tattilità, l'atto performativo, la dimensioni enunciativa ed ecologie sistemiche come alcuni delle modalità potenzialmente accattivanti del medium¹⁴⁰.

L'applicazione di approcci museologici sperimentali ai motori di visualizzazione, tipo i citati modelli ipertestuali da BIM ovvero i *game engine* dall'universo della *gamification*, rappresenta una nuova e significativa strada per il coinvolgimento di notevoli quantità di dati sul patrimonio culturale, anche alla luce dei nuovi strumenti di intelligenza artificiale che, ad esempio, consentono di aggregare dati da modellazione con dati da fotogrammetria.

Questi approcci sfruttano anche diverse tecniche per coinvolgere i partecipanti alla creazione di significati e valori, che possono amplificare la cognizione attraverso l'affettività, l'impronta psicologica, l'esperienza dinamica che non si compie solo nella visita ma rimane attraverso forme di coinvolgimento in remoto.



*Figura 47 Rappresentazione del concetto di approcci museologici sperimentali
(Fonte: Mironenko, 2023)*

In questo studio è stata presentata una panoramica delle trasformazioni in atto, dal punto di vista del disegno, dei *digital media* e dalla esigenza di dover documentare e visualizzazione scienza, arte, storia e costumi. Si può parlare

¹⁴⁰ Drucker, J. (2013). Performative materiality and theoretical approaches to interface. *DHQ: Digital Humanities Quarterly*, 7(1), 1.

di museologia sperimentale, studiando le recenti ricerche nel campo della scienza dei dati e delle discipline umanistiche che usano gli strumenti digitali. Le metafore artistiche, dell'intrattenimento del gioco, dell'apprendimento informale diventano elementi di ispirazione per il progresso nella visualizzazione dei contenuti e dei diversi patrimoni ed identità. Le istituzioni culturali commissionano progetti per trasformare le iniziative culturali secondo dimensioni più partecipative e focalizzate sul pubblico, e sulla esperienza senza età, barriere ed esclusività. Il quadro della museologia sperimentale offre idee, creatività e strumenti necessari per l'applicazione della visualizzazione alle collezioni di beni culturali. Tuttavia, resta ancora molto lavoro interdisciplinare da fare per accertare come e dove l'interazione fisico-digitale nella visualizzazione dei big data e nella progettazione tecnologica possa essere bilanciata e possa supportare efficacemente l'impegno pubblico e l'apprendimento, l'esperienza e la capacità. Per riconfigurare il futuro museo come una via per la scoperta sensoriale, l'apertura e la partecipazione, che incorpori rappresentazioni innovativa, accessibili e facilmente comprensibili dalla maggior parte degli utenti.



Figura 48 Collegamento al manifesto infografico (Fonte: Mironenko, 2023)

Bibliografia

PARTE I. *Digital museology e accessibilità al patrimonio culturale.*

- Agostino, D.; Arnaboldi, M.; Lampis, A. (2020). *Italian state museums during the COVID-19 crisis: From onsite closure to online openness*. Mus. Manag. Curatorship. 2020, 35, 362–372.
- Amoruso, G. (2016). *Handbook of Research on Visual Computing and Emerging Geometrical Design Tools* (p. 1-924, 2 volumi). Hershey, PA: IGI Global. ISBN 1522500292
- Amoruso, G. (2017). *Developing Semantic Models for the Historic Urban Regeneration in Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design* (editor), Proceedings of 5th INTBAU International Annual Event, Milano, 5-6 July 2017, p. 769-777, Springer International Publishing. ISBN 3319579375
- Batrancea, L.; Nichita, A.; Olsen, J.; Kogler, C.; Kirchler, E.; Hoelzl, E.; Weiss, A.; Torgler, B.; Fookan, J.; Zukauskas, S.; (2019). et al. *Trust and power as determinants of tax compliance across 44 nations*. J. Econ. Psychol., 74, 102191
- Brandi, C. (2005). *Theory of Restoration*, Nardini Editore; Nardini Editore: Firenze, Italy.
- Carvajal, D.A.L., Morita, M.M., Bilmes, G.M. (2020) *Virtual museums. Captured reality and 3D modeling*. J. Cult. Herit. 2020, 45, 234–239.
- Chaudhry, A.S.; Jiun, T.P. *Enhancing access to digital information resources on heritage*. J. Doc. 2005, 61, 751–776.
- Choi, H., Jeon, Y., Park, H., Nah, K. (2018) *Collaborative workshop between client and agency for open innovation*.
- Dainelli, F.; Manetti, G.; Sibilio, B. (2013). *Web-based accountability practices in non-profit organizations: The case of national museums*. Voluntas 2013, 24, 649–665.
- Eid, H. (2019). *Museum Innovation and Social Entrepreneurship, A New Model for a Challenging Era*; Routledge: London, UK, pp. 1–6.
- Ellie King, M. Paul Smith, Paul F. Wilson, Mark A. W. (2020) *Digital Responses of UK Museum Exhibitions to the COVID-19 Crisis* in Curator: The Museum Journal, Volume 64, March – June.
- Fahy, A. (1995). *New technologies for museum communication*. Mus. Media Messag. 2, 82–96.
- Glaser, G. *The Role of museums in today's Latin America*. Museum 1973, 25, 127–200.
- Hooper-Greenhill, E. (1990). *The Educational Role of the Museum*; Psychology Press: London, UK.
- Hooper-Greenhill, E. (2000). *Changing values in the art museum: Rethinking communication and learning*. Int. J. Herit. Stud. 6, 9–31
- Khorassani, S.M.; Ferrari, A.M.; Pini, M.; Blundo, D.S.; Muiña, F.E.G.; García, J.F. (2019). *Environmental and social impact assessment of cultural heritage restoration and its application to the Uncastillo Fortress*. Int. J. LCA., 24, 1297–1318.
- Kim, J. (2016) *The platform business model and business ecosystem: Quality management and revenue structures*. European Planning Studies, Taylor & Francis Journals, vol. 24(12), pages 2113-2132, December.
- Kim, J. (2021). *Platform quality factors influencing content providers' loyalty*. J. Retail. Consum. Serv., 60, 102510
- Kotler, P.; Lee, N. (2008). *Corporate Social Responsibility: Doing the Most Good for Your Company and Your Cause*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA.
- Light, J. (2001). *Rethinking the digital divide*. Harv. Educ. Rev., 71, 709–734.
- Manovich, L. (2002). *The Language of New Media*. Boston: Mit Press. ISBN 0262632551
- Manovich, L. (2013). *Media after software*. J. Vis. Cult., 12, 30–37.
- McCall, V.; Gray, C. (2014). *Museums and the 'new museology': Theory, practice and organizational*

- change*. Mus. Manag. Curatorship. 2014, 29, 19–35.
- Nasser, A.; Soohee, L. (2020). *Business model innovation through digitization in social purpose organizations: A comparative analysis of Tate Modern and Pompidou Centre*. J. Bus. Res. 125, 597–608.
- Network of European Museum Organizations (2021) *Follow-up survey on the impact of the COVID-19 pandemic on museums in Europe*. Final Report. January
- Newman, A. (2013) *Imagining the social impact of museums and galleries: Interrogating cultural policy through an empirical study*. Int. J. Cult. Policy, 19, 120–137.
- Padilla-Meléndez, A., del Águila-Obra, (2013) A.R. *Web and social media usage by museums: Online value creation*. Int. J. Inf. Manag. 33, 892–898.
- Pine Ii, J., Gilmore James, H. (2011). *The Experience Economy*. Cambridge: Harvard Business School Press. ISBN 1422161978
- Potts, T.; The, J. (2020). *Paul Getty Museum during the coronavirus crisis*. Mus. Manag. Curatorship, 35, 217–220
- Proctor, N. (2010). *Digital: Museum as platform, curator as champion, in the age of social media*. Curator Mus. J. 2010, 53, 35–43.
- Proctor, N. (2011). *The Google Art Project: A new generation of museums on the web?* Curator Mus. J. 2011, 54, 215–221
- Russo, A.; Watkins, J.; Kelly, L.; Chan, S. (2006). *How will social media affect museum communication? In Proceedings of the Nordic Digital Excellence in Museums (NORDIC 06)*, Oslo, Norway, 7–9 December, pp. 1–4.
- Samaroudi, M.; Echavarría, K.R.; Perry, L. (2020). *Heritage in lockdown: Digital provision of memory institutions in the UK and US of America during the COVID-19 pandemic*. Mus. Manag. Curatorship, 35, 337–361.
- Scudero, D. (2013). *Manuale Pratico del Curator: Tecniche e Strumenti Editoria e Comunicazione*; Gangemi Editore SpA: Roma, Italy.
- Serota, N. (1996). *Experience or Interpretation: The Dilemma of Museums of Modern Art; Thames and Hudson*: London, UK, 1996.
- Simone, C.; Cerquetti, M.; La Sala, A. (2021). *Museums in the Infosphere: Reshaping value creation*. Mus. Manag. Curatorship, 1–20
- Stiglitz, J. E., Greenwald Bruce, C. (2014). *Creating a Learning Society: A New Approach to Growth, Development, and Social Progress*. Columbia University Press. ISBN 0231152140
- Trunfio, M.; Lucia, M.D.; Campana, S.; Magnelli, A. (2020). *Innovating the cultural heritage museum service model through virtual reality and augmented reality: The effects on the overall visitor experience and satisfaction*. J. Heritage Tour. 1–19.
- Yoo, J.; Kim, J. (2019). *The effects of entrepreneurial orientation and environmental uncertainty on Korean technology firms' R&D investment*. J. Open Innov. Technol. Mark. Complex, 5, 29.

PARTE II. Simulazione avanzata di spazi museali interattivi.

- Amoruso, G., Mironenko, P. (2019). *Representation and new technologies for the contemporary library, innovating the cultural experience design*. DisegnareCon. Experiential Design for Heritage and Environmental Representation, 12, 23, 2019.
- Alsuhly, G.; Khattab, A. (2018). *An IoT Monitoring and Control Platform for Museum Content Conservation*. In Proceedings of the 2018 International Conference on Computer and Applications (ICCA), Beirut, Lebanon, 25–26 August 2018; pp. 196–201.
- Bourg, H. (2021). *PARAM-O e altri Strumenti per lavorare con gli Oggetti in ArchiCAD*. <https://blog.ArchiCAD.it/bim/param-o-e-altri-strumenti-per-lavorare-con-gli-oggetti-in-ArchiCAD>
- BIM Forum (2013). *Level of Development Specification*. Disponibile in: https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2013_reprint.pdf [21]

- dicembre 2021].
- Borrmann, A., Beetz, J., Koch, C., Liebich, T., & Muhic, S. (2018). *Industry Foundation Classes: standardized data model for the vendor-neutral exchange of digital building models*. In Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (A cura di), *Building information modelling* (p. 81-126). Cham: Springer.
- Bourg, H. (2020). *Le relazioni nel formato IFC*. Disponibile in: <https://blog.ArchiCAD.it/bim/le-relazioni-nel-formato-ifc-focus> [26 novembre 2021].
- BuildingSMART (2020). *International Industry Foundation Classes - Version 4 - Addendum* in: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD1/HTML/> [26 novembre 2021].
- BuildingSMART (2021). *What is open BIM?* <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/> [27 novembre 2021].
- Calvano, M.; Cirelli, M.; LoTurco, M. (2019). *Display the Invisible. Automated Algorithms to Visualize Complex Phenomena*. In *Proceedings of the 2nd International and Interdisciplinary Conference on Image and Imagination*, Alghero, Italy, 4–5 July. pp. 936–949.
- Chiabrando, F.; Turco, M.L.; Santagati, C. (2017). *Digital invasions: From point clouds to historical building object modeling (H-bom) of a unesco whl site*. *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2017, XLII-2/W3, 171–178. [CrossRef]
- Cnappc, Cresme (2019). Circolare “BIM-MONITORING”. *L’innovazione e il mercato in Italia*. Disponibile in: http://ordinearchitetti.fe.it/ordine/wp-content/uploads/2019/02/Circ.14_164_2019-BIM-e-CRESME.pdf [4 dicembre 2021].
- Criconia, A. (2011). *L’architettura Dei Musei*. Carocci: Rome, Italy.
- D.M. 10.5.2001; *Atto di Indirizzo Sui Criteri Tecnico-Scientifici e Sugli Standard di Funzionamento e Sviluppo Dei Musei*. Ministero per i beni e le Attività Culturali: Rome, Italy, 10 May 2021.
- D. Lgs. 493/1996; (1996). *Attuazione della Direttiva 92/58/CEE Concernente le Prescrizioni Minime per la Segnaletica di Sicurezza e/o di Salute sul Luogo di Lavoro*. Gazzetta Ufficiale: Rome, Italy.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Filippi, M.; Rota, M. (2009). *Confidential Facility Report: A tool for quality evaluation and decision making in museums*. In *Proceedings of the 4th International Congress Science and Technology for the Safeguard of Cultural Heritage in the Mediterranean Basin*, Cairo, Egypt, 6–8 December; pp. 391–395.
- Fryskowska, A.; Stachelek, J. (2018). *A no-reference method of geometric content quality analysis of 3D models generated from laser scanning point clouds for hBIM*. *J. Cult. Herit.* 2018, 34, 95–108. [CrossRef]
- Ippoliti, E.; Albisinni, P. (2016). *Virtual museums. communication and/is representation*. *Disegnare Con. Virtual Mus. Archit. City* 2016, 9, E1–E15.
- La Russa, F.M.; Santagati, C. (2020). *From the Cognitive to the Sentient Building. Machine Learning for the preservation of museum collections in historical architecture*. In *Proceedings of the 38th eCAADe Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, Berlin, Germany, 16–17 September 2020; pp. 507–516.
- La Russa, F.M.; Santagati, C. (2021). *An AI-based DSS for preventive conservation of museum collections in historic buildings*. *J. Archaeol. Sci. Rep.* 2021, 35, 102735.
- Lo Turco, M., Calvano, M., Giovannini, E.C. (2019). *Data modeling for museum collections*. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* XLII-2-W9, 433–440. [CrossRef]
- Lo Turco, M., Calvano, M. (2019). *Digital Museums, Digitized Museums*. In A. Luigini (Ed), *Proceedings of the 1st International and Interdisciplinary Conference on Digital Environments for Education, Arts and Heritage*. EARTH 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol 919. Cham: Springer. ISBN9783030122409
- Lo Turco, M.; Giovannini, E.C. (2020). *Towards a Phygital Heritage approach for Museum Collection*. *J. Archaeol. Sci. Rep.* 34, ‘102639. [CrossRef]

- Lo Turco, M., Giovannini E. C. & Tomalini, A. (2021). *Physical, digital, virtual, intangible. Research experiences in Museums*. AGATHÓN| International Journal of Architecture, Art and Design, 10, 140-149.
- Manoli, F. (2015). *Manuale Di Gestione e Cura Delle Collezioni Museali*. Le Monnier Università: Florence, Italy.
- Ming, H (2018). *BIM-Enabled Pedagogy Approach: Using BIM as an Instructional Tool in Technology Courses*. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice. 145. 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000398.
- Mcgough, D. & Ahmed, A. & Austin, S. (2013). *Integration of BIM in higher education: case study of the adoption of BIM into Coventry University's Department of Civil Engineering, Architecture and Building*. 10.13140/2.1.1240.8642.
- Moreno, A. (2016). *BIM, Ance: Italia in ritardo; necessaria una strategia nazionale*. Ming, H (2018). *BIM-Enabled Pedagogy Approach: Using BIM as an Instructional Tool in Technology Courses*. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice. 145. 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000398.
- Mcgough, D. & Ahmed, A. & Austin, S. (2013). *Integration of BIM in higher education: case study of the adoption of BIM into Coventry University's Department of Civil Engineering, Architecture and Building*. 10.13140/2.1.1240.8642.
- Pernatkin K., (2021). *Parametric Conflicts: GDL vs GRASSHOPPER*. <https://2optik.livejournal.com/84085.html>
- Pepe, M.; Zinno, A.; Napolano, M.C.; Mariani, M.; Perotto, S.; Grieco, D.; Rossi, M.; Giannone, G.; Kohler, T.; Eipper, P.-B. (2021). *HBIM tool for preventive conservation of sensitive cultural heritage in museums: The SensMat approach*. In Proceedings of the Conference CIB W78, Luxemburg, 11–15 October 2021; pp. 669–682.
- Resta, G.P., Dicuonzo, F., Karacan, E., & Pastore, D. (2021). *The impact of virtual tours on museum exhibitions after the onset of Covid-19 restrictions: visitor engagement and long-term Perspectives*. Scires-It, 11. ISO 29481-1:2016; Building Information Models—Information Delivery Manual—Part 1: Methodology and Format. Available online: <https://www.iso.org/standard/60553.html> (accesso 14 Giugno 2022).
- Santagati, C.; Lo Turco, M. (2016). *From structure from motion to historical building information modeling: Populating a semantic-aware library of architectural elements*. J. Electron. Imaging 2016, 26, 011007-1–011007-12. [CrossRef]
- Sears, Andrew; Jacko, Julie A. (2007). *The Human–Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*, Second Edition. CRC Press. p. 5.
- Sutherland, I. E. (1964). *Sketchpad a man-machine graphical communication system*. Simulation, 2(5), R-3.
- Tucci, G., Conti, A., Fiorini L., Corongiu, M., Valdambri, N., Matta, C. (2019). *M-BIM: A new tool for the Galleria dell'Accademia di Firenze*. Virtual Archaeology Review, 10(21): 40–55, 2019.
- Tucci, G.; Betti, M.; Conti, A.; Corongiu, M.; Fiorini, L.; Matta, C.; Kovac'evic', V.C.; Borri, C.; Holberg, C. (2019). *Bim for Museum: An integrated approach from the building to the collection*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2019, XLII-2/W11, 1089–1096. [CrossRef]
- UNI 10829/1999, *Beni di interesse storico e artistico—Condizioni ambientali di conservazione—Misurazione ed analisi*. Agenzia Combusti Academy: Rome, Italy, 1999.
- Veron, E., Lévassieur, M. Ethnographie De L'exposition (1983). *Bibliothèque Publique d'Information*, Centre Georges Pompidou: Paris.
- Versolato, A. (2018). *BIM: il quadro normativo*. Disponibile in: <https://www.appaltiecontratti.it/2018/05/21/bim-il-quadro-normativo/> [26 novembre 2021].

PARTE III. *Il Museo simulato: esperienza interattiva del Teatro Romano di Amman.*

- Albourae, A.T.; Armenakis, C.; Kyan, M. (2017). *Architectural Heritage Visualization Using Interactive Technologies*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2017, 42, 7–13.
- Alexander, A.L., Brunyé, T., Sidman, J. And Weil, S.A. (2012). *From Gaming to Training: A Review of Studies on Fidelity, Immersion, Presence, and Buy-in and Their Effects on Transfer in PC-Based Simulations and Games*, Aptima. Inc., Woburn, MA, DARWARS Training Impact Group.
- Amoruso, G., Carioni, C. (2023). Roman Theatre Experience the Making of Digital Reconstruction. in *Digital Restoration and Virtual Reconstructions. Case Studies and Compared Experiences for Cultural Heritage*. Ilaria Trizio, Emanuel Demetrescu, Daniele Ferdani (eds), Springer Nature, 2023, p. 275-295, ISSN 2731-7269, ISSN 2731-7277 (electronic) ISBN 978-3-031-15320-4 ISBN 978-3-031-15321-1 (eBook)
- Amoruso, G., Manti, A. (2023). Replicare l'Apollino di Canova. Materia, Fragilità ed Immaginazione Tattile. in *Canova e il potere. La Collezione di Giovanni Battista Sommariva*, da un'idea di Vittorio Sgarbi, a cura di Moira Mascotto e Elena Catra, p. 147-161, Editore Contemplazioni | Museo Gypsotheca Antonio Canova.
- Amoruso, G. (2023). The Tale of the Roman Theater of Philadelphia, Amman. Representative and experiential methodology of the theatrical space, in Brusaporci S. (ed.) *Architectural Heritage Imaging - DISEGNARECON*, Vol 16, No 31, ISSN 1828-5961.
- Anderson, E. F., Mcloughlin, L., Liarokapis, F., Peters, C., Petridis, P. & De Freitas, S. (2009). *Serious Games in Cultural Heritage, 10th VAST International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*. (VAST '09). VAST-STAR, Short and Project Proceedings, Eurographics, Malta, 22-25.
- Andrade, A. (2015), *Game engines: a survey*, *EAI Endorsed Transactions on Serious Games*, 15(6): e8.
- Antinucci, F. (2007). *Musei virtuali. Come non fare innovazione tecnologica*. Roma-Bari: Laterza
- Arends M., Merkl D., Goldfarb D., Froschauer J. (2012). *A serious heritage game for art history: Design and evaluation of ThIATRO*, in 2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM). Proceedings of the VSMM 2012 Virtual Systems in the Information Society. 2 – 5 September, 2012 Milan, Italy, IEEE Advancing Technology for Humanity, Milano.
- Blair L., Kapp K. M., Mesch R., (2014). *The Gamification of Learning and Instruction Fieldbook: Ideas into practice*, Wiley, San Francisco 2014.
- Brouillard J., Dierickx B., Loucopoulos C. (2015). *Digital Storytelling and Cultural Heritage: Stakes and Opportunities*. Officine Grafiche Tiburtine, Roma.
- Cianci M. G., Calisi D., de Lorenzo A. (2019). *La realtà virtuale immersiva per la conoscenza del patrimonio culturale: il quartiere Alessandrino a Roma*. In Conte Antonio, Guida Antonella (eds.). *Patrimoni in divenire. Conoscere, valorizzare, abitare*. Atti del VII Convegno Internazionale sulla documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e della tutela paesaggistica ReUSO 2019. Roma: Gangemi, pp. 1357-1366.
- Giordano, A., Russo, M., Spallone, R. (2022). *Representation Challenges: Searching for New Frontiers of AR and AI Research*. FrancoAngeli s.r.l. Milano.
- Greengard, S. (2019). *Virtual Reality*. Cambridge: MIT Press Edition.
- Koehler, T.; Dieckmann, A.; Russell, P. (2008). *An Evaluation of Contemporary Game Engines*. In Proceedings of the 26th eCAADe Conference, Antwerp, Belgium, 17–20 September 2008; pp. 743–750.
- Riccò, D. (2008). *Sentire il design. Sinestesi del progetto di comunicazione*. Roma: Carocci.
- Sdegno, A. (2018). *Augmented Visualization. New technologies for communicating Architecture*. In Rossi Michela, Buratti Giorgio (eds.). *Computational Morphologies:*

- Design Rules Between Organic Models and Responsive Architecture*. Cham: Springer. pp. 197-202.
- Sdegno, A., Riavis, V., Cochelli, P., Comelli, M. (2022). Virtual and Interactive Reality in Zaha Hadid's Vitra Fire Station, FrancoAngeli.
- Toffoletti, I. (2021). *Chiusi per Covid. Aperti per cultura. Musei e Comunicazione digitale. Bilancio e Prospettive*. Roma: Gangemi.
- Vicci R., (2019). Ricostruzioni digitali per la conoscenza e la valorizzazione dei teatri antichi: usi, significati, questioni aperte. In M. Limoncelli, F. Sacchi, R. Vicci, *Indagini archeologiche e ricostruzioni digitali per lo studio degli spazi teatrali greci e romani. Visioni e prospettive*. Milano, EDUCatt, 2019, p. 83-148.