

Narrare l'inaccessibile: un *virtual immersive movie* per le grotte di Palazzo Campana

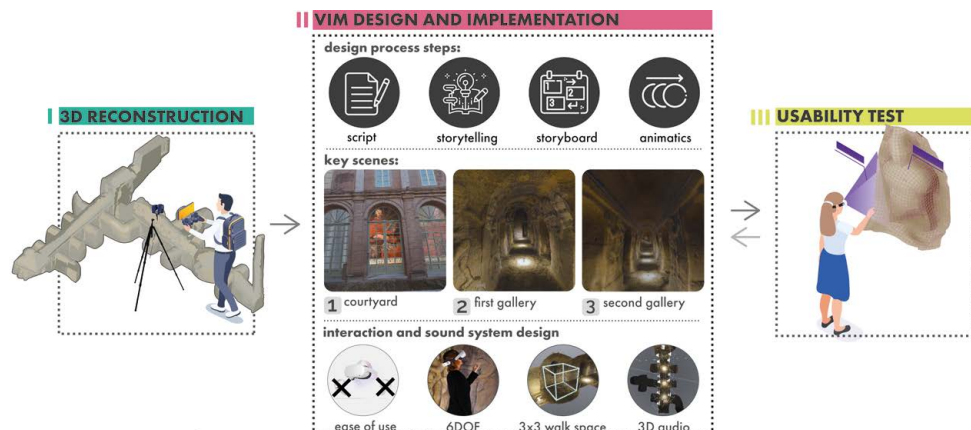
Paolo Clini
Renato Angeloni
Mirco D'Alessio
Umberto Ferretti

Abstract

Il presente contributo si inserisce nell'ambito delle soluzioni per la fruizione digitale del Patrimonio Culturale, sfruttando la realtà virtuale immersiva come strumento di accesso a un luogo fisicamente inaccessibile. In particolare, obiettivo della ricerca è quello di definire e testare una forma di fruizione alternativa per le Grotte di Palazzo Campana a Osimo (Marche, Italia), luogo enigmatico e ricco di storia attualmente chiuso al pubblico per ragioni legate alla sua conservazione. Punto di partenza la replica digitale delle sue gallerie, elaborata da scansioni laser e immagini panoramiche ad alta risoluzione, successivamente ottimizzata ai fini della sua esplorazione virtuale tramite visore. Definendone un racconto emotivamente coinvolgente, basato su contenuti derivanti da studi storiografici condotti sul Palazzo e le sue grotte, è stato quindi possibile realizzare un *virtual immersive movie*, un'esperienza che simula una visita guidata, arricchita con animazioni e interazioni sincronizzate alla narrazione e ai movimenti del visitatore. I risultati dei test di valutazione dell'esperienza utente ne hanno confermato l'efficacia come strumento di divulgazione e dimostrato quanto, oltre a rendere accessibile un luogo della cultura, soluzioni di questo tipo possano sensibilizzare il pubblico rispetto ai temi della sua tutela e conservazione.

Parole chiave

realtà virtuale, virtual immersive movie, replica digitale, narrazione immersiva, patrimonio culturale sotterraneo.



Workflow per la realizzazione dell'esperienza (I) Ricostruzione 3D; (II) Progetto e sviluppo del Virtual Immersive Movie; (III) Test di valutazione dell'esperienza utente. Elaborazione degli autori.

Introduzione

L'applicazione nell'ambito dei beni culturali delle tecnologie digitali ha aperto nuovi scenari per la conservazione e la fruizione del patrimonio culturale (*Cultural Heritage*, CH). Forme di narrazione e di esperienza virtuale lo rendono oggi sempre più accessibile; tra queste la Realtà Virtuale Immersiva (*Immersive Virtual Reality*, IVR), unendo accurate ricostruzioni 3D a storytelling coinvolgenti, si distingue come mezzo tecnologico particolarmente efficace per la fruizione di luoghi della cultura esistenti o frutto di ricostruzioni filologiche.

Inserendosi in tale ambito, il presente contributo propone un'innovativa forma di narrazione virtuale in grado di rendere accessibili anche luoghi che fisicamente non lo sono, proprio come esemplificato dal caso studio proposto: delle gallerie ipogee scavate nell'arenaria e adornate a bassorilievi, oggi chiuse al pubblico per proteggerne le delicate superfici e garantire la conservazione.

Stato dell'arte

Numerosi studi hanno dimostrato il grande potenziale delle tecnologie digitali nel supportare la conservazione e la fruizione del CH [Banfi et al. 2021; Bernardello et al. 2020; Bianconi et al. 2023; Calisi et al. 2022; Günay 2022; Medici et al. 2021; Spallone et al. 2021; Spallone et al. 2022]. Molta strada è stata fatta dalle prime sperimentazioni di grafica digitale risalenti all'ultimo ventennio del secolo scorso [Reilly 1990; Stone 1999]; passando attraverso la definizione di *best practice* e la redazione di Carte Internazionali [Brusaporci et al. 2013; Europe Council Treaty Office 2005], fino ad arrivare ai piani programmatici e strategici di livello nazionale [Direzione generale Musei - MIBACT 2019; Laboratorio per il Turismo Digitale 2014] e internazionale [Europeana 2020].

Grazie alla continua crescita nelle prestazioni dei dispositivi e a una sensibile diminuzione dei costi, si è assistito a una notevole diffusione in ambito culturale dell'utilizzo delle tecnologie digitali di realtà estesa (*eXtended Reality*, XR) [Bekele et al. 2018]. Diversi sono gli strumenti ad oggi disponibili: CAVE, pseudo-ologrammi e visori VR sono tra questi certamente i più efficaci per grado di immersione e coinvolgimento dell'utente offerti [Leopardi et al. 2021]. Proprio in relazione all'impiego di visori VR è possibile riscontrare numerosi casi di applicazione nel campo del CH suddivisibili in due macrocategorie, rispettivamente riferite all'ambito dell'esistente o alla ricostruzione di ciò che non lo è più. Al primo gruppo appartengono quindi tutte le esperienze di fruizione virtuale basate sulla digitalizzazione mediante acquisizioni fotografiche o scansioni laser [Cianci et al. 2023; Clini et al. 2020; De Paolis et al. 2022; Di Gregorio 2023; Ferdani et al. 2023; Medici et al. 2020; Wisher et al. 2023]. Mentre, nella seconda macrocategoria rientrano numerosi lavori legati a ricostruzioni in campo archeologico, che rendono possibile l'esplorazione di interi siti o di singole architetture non più esistenti, offrendone una visualizzazione di come dovevano apparire in passato [Bozzelli et al. 2019; Clini et al. 2022; Ferdani et al. 2020; Katsouri et al. 2015; Liaskos et al. 2022; Spallone et al. 2023; Walmsley et al. 2023]. Sempre legati a questa seconda macrocategoria sono poi diversi applicativi riferiti al mondo della pittura e del progetto di architettura, i quali propongono nuove forme d'interpretazione artistica grazie al passaggio dalla bidimensionalità del dipinto [Clini et al. 2023] e del disegno di progetto [Masserano 2023] alla tridimensionalità e all'immersività dell'esperienza virtuale. A prescindere dall'ambito di riferimento, diverse ricerche hanno sottolineato quanto le potenzialità comunicative dell'IVR vengano ulteriormente amplificate dall'inserimento di aspetti narrativi ed emozionali legati alla sfera sonora o multisensoriale [Marto et al. 2022].

Scopo della ricerca e caso di studio

Inserendosi in tale ambito, il presente contributo descrive e valida un'innovativa forma di fruizione per i luoghi della cultura, basata sull'esplorazione immersiva della loro replica di-

digitale. Il processo di generazione dell'esperienza virtuale parte quindi dalla conoscenza del sito e dalla sua accurata rappresentazione tridimensionale, e sfrutta l'ibridazione di diversi linguaggi allo scopo di generare un'esperienza emotivamente coinvolgente. L'obiettivo del presente lavoro è infatti quello di creare un'efficace soluzione alternativa alla visita fisica per il luogo della cultura qui individuato come caso di studio: la rete di gallerie sotterranee che si estende sotto Palazzo Campana ad Osimo (Marche, Italia) (fig. 1).



Fig. 1. In alto da sinistra, prospetto principale e corte interna di Palazzo Campana; in basso, porzione dell'apparato decorativo che caratterizza le gallerie ipogee. Foto degli autori.

Numerose ricerche hanno affrontato il tema delle decorazioni a bassorilievo che adornano le sue due gallerie principali: enigmatiche rappresentazioni allegoriche dei continenti, delle virtù umane, a tema religioso e mitologico. Lo scarso stato di conservazione non permette però una chiara interpretazione di tutte le raffigurazioni, danneggiate nei secoli dall'utilizzo delle grotte a diverso scopo. Recenti studi [D'Orazio et al. 2020] hanno dimostrato come il continuo flusso di visitatori induca variazioni di temperatura e umidità in grado di arrecare ulteriore danno alle già fragili figure scolpite nell'arenaria. Per questa ragione l'accesso al pubblico è stato interdetto e un'esperienza di IVR è stata individuata come soluzione per mantenere questo patrimonio accessibile e allo stesso tempo garantirne la conservazione.

La replica digitale per la fruizione virtuale immersiva

La documentazione digitale gioca un ruolo cruciale nella generazione di un'esperienza di fruizione virtuale immersiva di un luogo della cultura, che può così anche essere mantenuto

inaccessibile per favorirne la conservazione. A tal fine, i dati derivanti dalle scansioni laser e dall'acquisizione di immagini panoramiche ad alta risoluzione sono stati combinati per generare un'accurata ricostruzione tridimensionale delle gallerie sotterranee [Clini et al. 2019], che è stata quindi ulteriormente editata e ottimizzata ai fini della fruizione tramite visore VR. In prima battuta, una *mesh* a elevato numero di poligoni è stata ottenuta in maniera semi-automatica dalla nuvola di punti derivante dalle scansioni laser, utilizzando lo strumento scan-to-mesh del software Leica Cyclone 3DR. La stessa è stata quindi editata, rimuovendone gli errori topologici e texturizzandone la superficie tramite la proiezione delle immagini panoramiche acquisite in corrispondenza delle stazioni di scansione. Infine, il modello è stato importato nel software Blender per generarne una versione *lowpoly* ed eseguire su questa il *baking* del colore e delle normali, utilizzando come riferimento la versione *highpoly* (fig. 2).

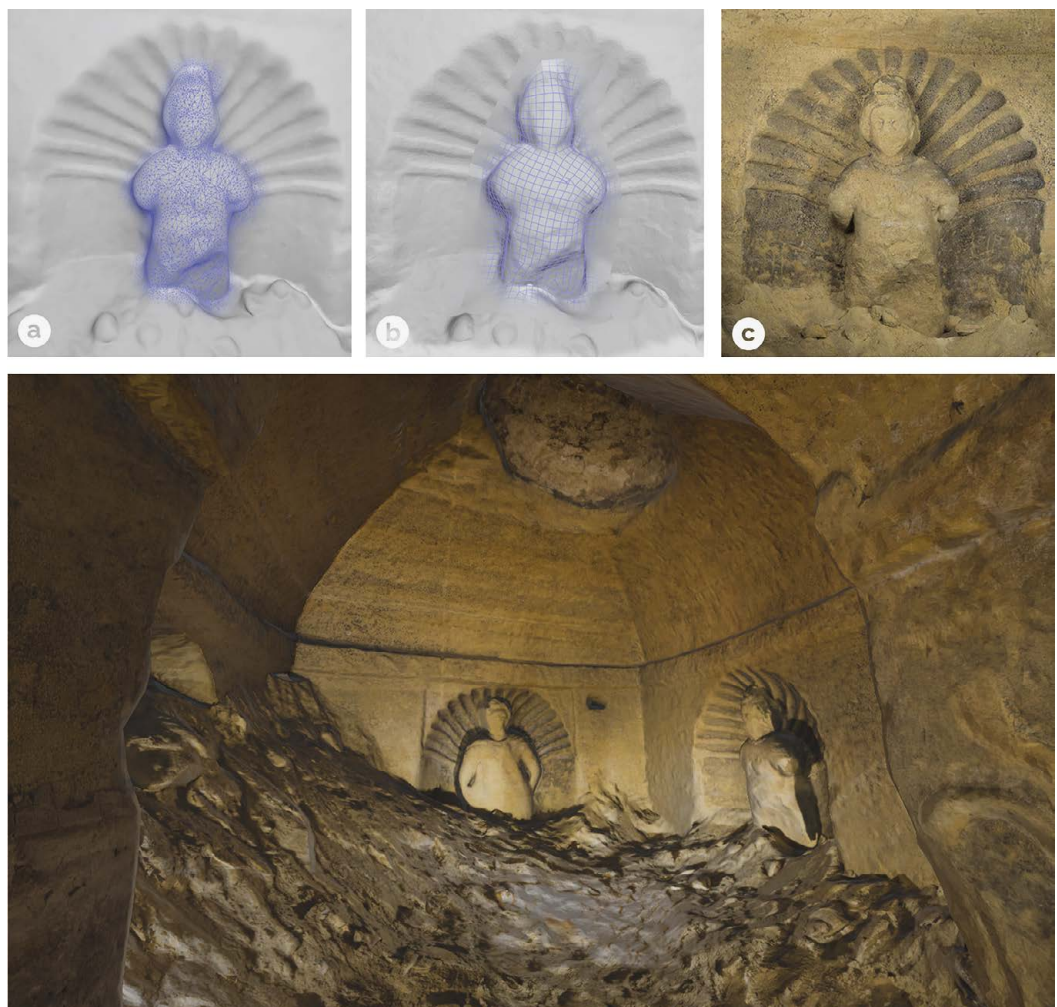


Fig. 2. Sopra, raffigurazione di Venere: (a) modello *mesh highpoly*, (b) modello *mesh lowpoly*, (c) modello *lowpoly* al termine del processo di *baking*. Sotto, modello delle grotte di Palazzo Campana, vista della sala delle Veneri posta al termine della prima galleria sotterranea. Foto ed elaborazioni degli autori.

VIM progettazione e realizzazione

Con l'obiettivo di sviluppare una visita virtuale in grado di coinvolgere emotivamente gli utenti, si è strutturato un racconto delle grotte in forma di *Virtual Immersive Movie* (VIM), ovvero un'esperienza di tipo cinematografico nel quale lo spettatore è completamente immerso nel contesto virtuale, interagisce liberamente con questo, ma segue un'evoluzione della narrazione guidata e predefinita. Pertanto, è stato adottato un flusso di lavoro standard in ambito cinematografico strutturato in quattro fasi: sviluppo della sceneggiatura (*script*),

narrazione (*storytelling*), creazione dello *storyboard* e animazione dello stesso (*animatics*). Inizialmente, sono state delineate le tematiche culturali da affrontare portando alla luce quattro argomenti principali: la contestualizzazione storica, la relazione tra il sistema di gallerie sotterranee e il palazzo, gli elementi decorativi all'interno delle grotte, nonché la fragilità della pietra arenaria di cui le grotte sono costituite. Successivamente, questi temi cruciali sono stati trasformati in una struttura narrativa appropriata per il VIM. L'intera esperienza è stata progettata come una visita guidata, sfruttando una voce narrante e animazioni visive per accrescere il senso di immersione degli utenti in questo viaggio virtuale. Sulla base di questo quadro narrativo, sono state identificate tre scene chiave: l'introduzione, ambientata nel cortile principale di Palazzo Campana e che prevede la contestualizzazione storica e morfologica delle grotte rispetto al palazzo; l'esplorazione della prima galleria sotterranea, con i suoi bassorilievi raffiguranti personaggi della mitologia quali Paride e Mercurio; infine, l'esplorazione della seconda galleria, adornata con figure allegoriche che rappresentano i continenti, secondo l'iconografia di Cesare Ripa [Capriotti 2016] (fig. 3).

Fig. 3. Individuazione delle tre scene chiave: introduzione alla storia di Palazzo Campana e delle sue gallerie, visita alla prima galleria (tema mitologico), visita alla seconda galleria (raffigurazioni allegoriche). Elaborazioni degli autori.



Il design narrativo ha inoltre coinvolto la pianificazione e la schematizzazione delle principali animazioni pensate per l'esperienza; sono stati integrati con meticolosità elementi dinamici quali la comparsa di raffigurazioni dei personaggi illustri legati alla vita artistica e culturale di Palazzo Campana, l'individuazione delle grotte tramite la dissolvenza della pavimentazione del cortile, la generazione e la disgregazione di un blocco di pietra arenaria e, infine, l'animazione del sistema decorativo attraverso l'emissione di luce (fig. 4).

Al termine della fase di progettazione della narrazione, l'attenzione è stata spostata verso lo sviluppo dell'esperienza per l'HMD Meta Quest 2. Il software Blender è stato utile per realizzare l'ambiente 3D finale, integrando la replica digitale dell'ambiente degli spazi del cortile e delle gallerie sotterranee con oggetti modellati in maniera manuale, mentre la piattaforma di sviluppo Unity 3D e gli asset standard di Meta sono stati sfruttati per l'integrazione di contenuti e interazioni e per la generazione dell'applicazione necessaria per la fruizione dell'esperienza. L'intero sistema è stato temporizzato e programmato utilizzando script in C# (fig. 5).

Valutando l'esperienza nell'ambito dell'allestimento museale di cui andrà a far parte e la durata prevista (circa 8 minuti) si è deciso di adottare un sistema di interazione quanto più semplificato possibile. La manipolazione di oggetti è stata esclusa, una scelta che elimina la necessità di controller o del tracciamento delle mani, semplificando la fase di addestramento dell'utente. Inoltre, a causa della vasta estensione delle gallerie, entrambe superano i 9 metri di lunghezza e presentano una larghezza media di circa 1,5 m, la navigazione nell'ambiente virtuale ha rappresentato una sfida critica in ragione del limitato spazio espositivo in cui andrà a essere fruita. Il VIM è stato dunque progettato per essere fruito in un'area fisica di 3x3 metri, consentendo agli utenti di esplorare una sezione confinata delle gallerie sotterranee. Al termine della narrazione prevista per la porzione visitata, l'utente viene automaticamente riposizionato al centro della successiva area di interesse, seguendo la narrazione proposta per l'intero complesso. Ciò assicura che la voce narrante, gli effetti sonori e la musica riman-

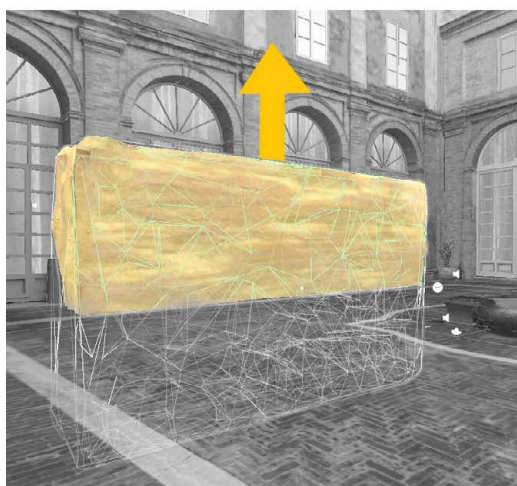
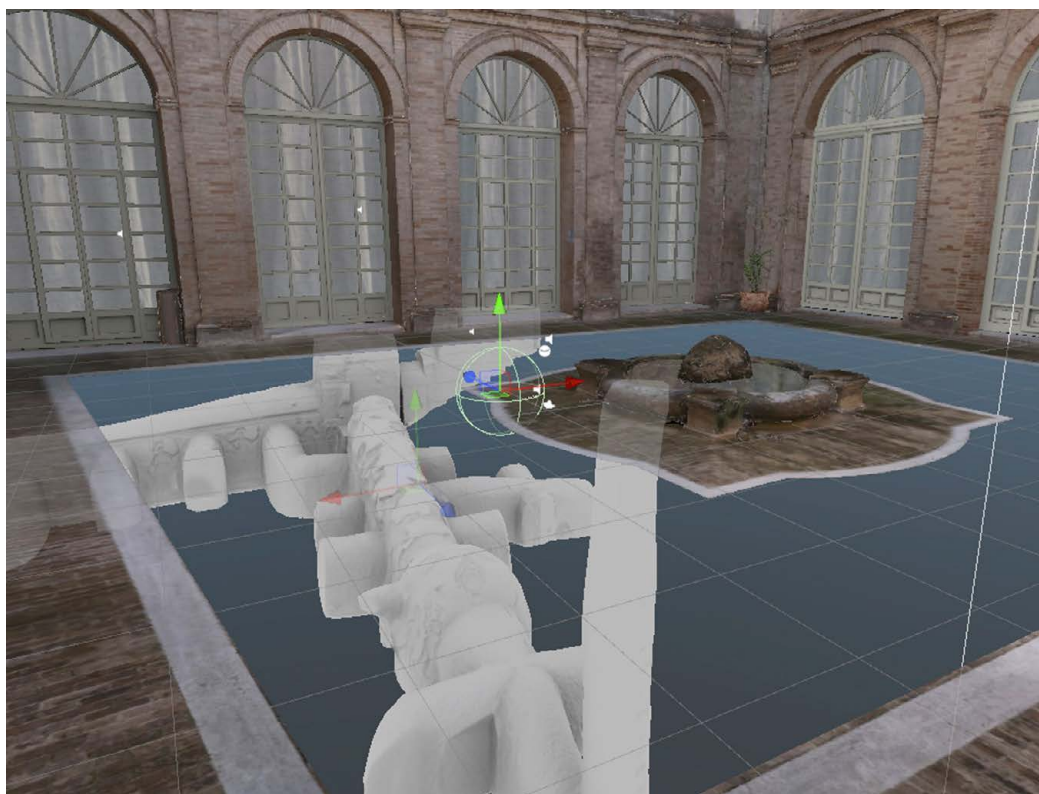


Fig. 4. Sopra, vista del cortile interno e delle grotte sottostanti nell'ambiente di sviluppo *Unity*. Sotto, concettualizzazione di alcune delle animazioni fruibili nell'esperienza: generazione e disgregazione di un blocco di pietra arenaria; emissione di luce dai bassorilievi sincronizzata alla loro narrazione. Foto ed elaborazioni degli autori.

gano sincronizzati con i movimenti dell'utente, migliorandone significativamente il grado di immersione. Inoltre, per evitare attese durante i tempi di caricamento e garantire la fluidità della fruizione, ogni transizione di scena è accompagnata da un effetto di dissolvenza in entrata e in uscita.

L'interpretazione del testo della narrazione è stata integrata con effetti sonori, realizzati attraverso audio spaziali 3D che suggeriscono all'utente il bassorilievo da osservare.

Una colonna sonora originale è stata composta per il VIM, aumentandone ulteriormente l'impatto emotivo. Sempre per favorire la facilità di utilizzo, sfruttando il sensore di prossimità, l'HMD riconosce l'assenza dell'utente e ripristina la condizione iniziale.

Questa funzione è particolarmente utile in un contesto museale, poiché elimina qualsiasi necessità di assistenza esterna nel passaggio tra l'utilizzo da parte di un utente e il successivo (fig. 6).

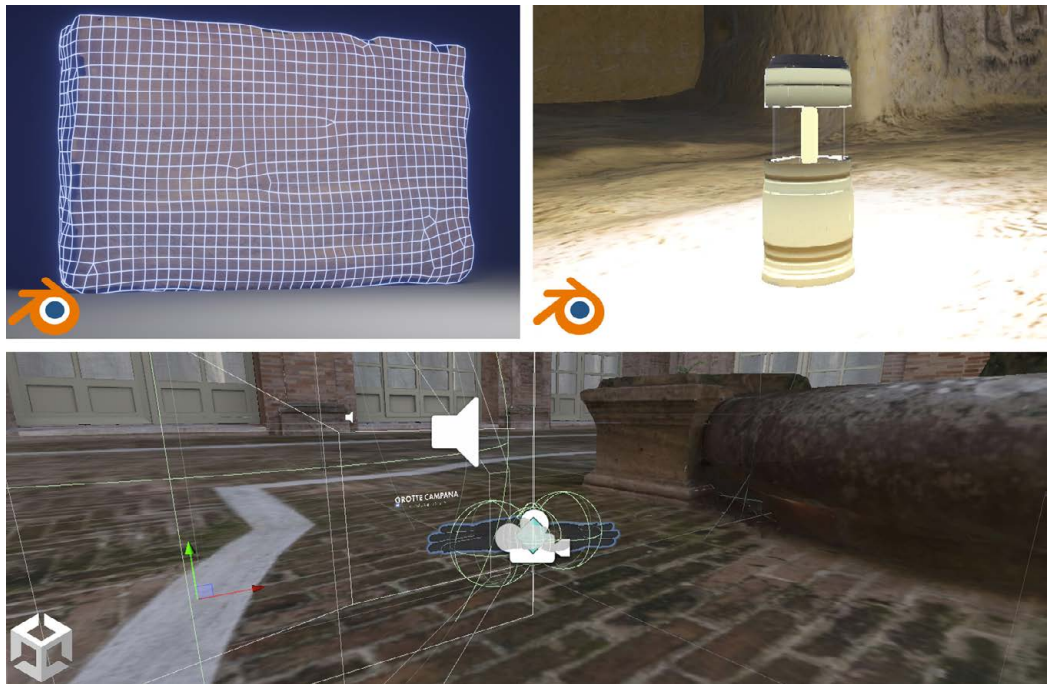


Fig. 5. In alto, elementi modellati manualmente all'interno del software Blender. In basso, integrazione di contenuti, animazioni e interazioni nell'ambiente di sviluppo Unity.



Fig. 6. Fotogrammi tratti dal film virtuale immersivo (VIM): (a) comparsa dei dipinti di uomini illustri legati alla storia di Palazzo Campana; (b) visualizzazione delle gallerie al di sotto del cortile; (c) disgregazione del blocco di pietra di arenaria che ne evidenzia la fragilità; (d) comparsa degli stemmi di importanti famiglie osimane raffigurati nei bassorilievi; (e) illuminazione dell'apparato decorativo a corroborarne la narrazione dinamica; (f) particolare della superficie di uno dei bassorilievi. Foto ed elaborazioni degli autori.

Test esperienze utente

L'esperienza virtuale è stata valutata ricorrendo ad un questionario di gradimento, i cui risultati hanno dimostrato l'efficacia della soluzione proposta nello stimolare il coinvolgimento emotivo e la curiosità dell'utente.

Il questionario è stato strutturato in 15 affermazioni associate a 5 dimensioni dell'esperienza: autenticità, interazione, navigazione, apprendimento e potenzialità di ampliamento del pub-

Risultati del questionario

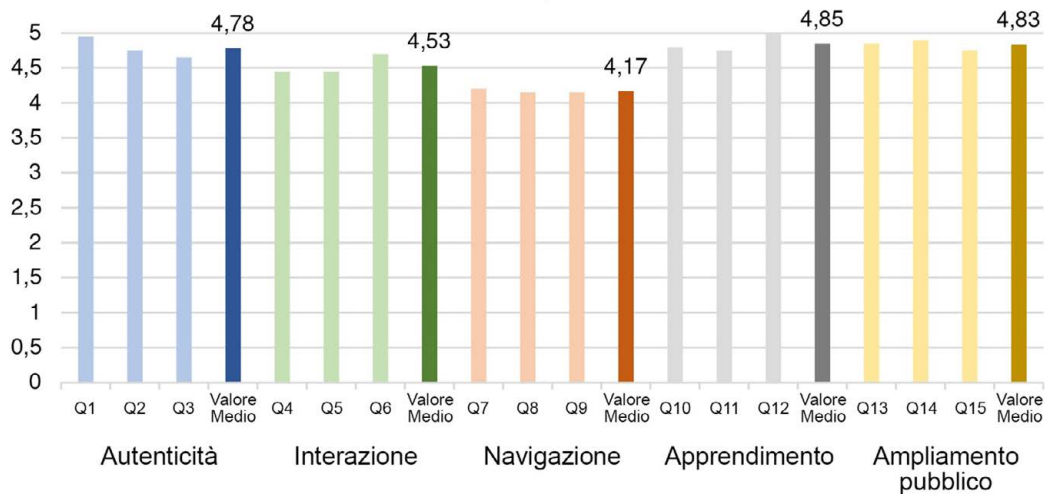


Fig. 7. Risultati e media delle 3 domande associate a ciascuna delle 5 dimensioni considerate nel test di valutazione dell'esperienza utente. Elaborazione degli autori.

blico. Ciascun utente ha espresso il proprio grado di consenso su una scala da 1 a 5. L'affidabilità del test è stata misurata e confermata mediante il modello dell'alpha di Cronbach, valutato per ciascuna delle cinque dimensioni prese in considerazione.

Oltre il 94% delle risposte è stato rappresentato da "Pienamente d'accordo" e "Parzialmente d'accordo", dimostrando come la maggior parte dei soggetti sia stata soddisfatta dall'esperienza. Eccellenti risultati si sono riscontrati in particolare modo rispetto al realismo dell'ambiente virtuale e all'interesse suscitato dalle informazioni fornite. Inoltre, il 90% degli utenti si è definito "Pienamente d'accordo" rispetto al consigliare ad altri questa esperienza, e rispetto all'essere interessato a ulteriori esperienze analoghe di realtà virtuale (fig. 7).

Conclusioni e sviluppi futuri

Il presente contributo ha affrontato il tema dell'utilizzo della VR come strumento per raccontare e garantire l'accessibilità di un luogo della cultura anche quando motivi di sicurezza, o la sua stessa fragilità, impediscano di visitarlo fisicamente. La soluzione sviluppata si è dimostrata estremamente efficace nel consentire agli utenti di esplorare le gallerie sotterranee di Palazzo Campana, comprenderne le caratteristiche e la storia. L'elevato livello di dettaglio visivo della replica digitale, come evidenziato anche dai risultati dei test condotti, ha contribuito a rendere più realistica e immersiva l'esperienza e, soprattutto, a garantire un'adeguata comprensione dello stato di conservazione delle grotte. La maggioranza dei partecipanti ha infatti mostrato un significativo aumento non solo dell'interesse per il sito ma anche della consapevolezza dell'importanza della sua conservazione, risultato che sottolinea quanto queste tecnologie possano essere utili a sensibilizzare gli utenti anche rispetto alle esigenze di conservazione del CH. I risultati presentati hanno evidenziato inoltre un diffuso apprezzamento della modalità di narrazione proposta, il VIM si è in particolare dimostrato efficace per l'integrazione del racconto, guidata dalla voce fuori campo, con effetti sonori e animazioni che hanno prodotto un sostanziale aumento del senso di immersione, senza però rinunciare ad un'esperienza utente immediata, che non necessita di alcun tipo di formazione per il visitatore, che può così limitarsi ad indossare il visore ed esplorare liberamente le grotte.

Sviluppi futuri si focalizzeranno sul potenziamento delle interazioni e sulla gamification, per proporre all'utente un'esperienza ancor più stimolante, e sull'approfondimento di approcci ibridi che coinvolgono interazioni tra riproduzioni virtuali e fisiche.

Riferimenti Bibliografici

- Banfi F., Oreni D., Bonini J. A. (2021). L'Arco della Pace di Milano e la sua memoria storica: dal rilievo 3D e HBIM alla mixed reality (VR-AR). In A. Arena et al. (a cura di). *CONNETTERE. Un disegno per annodare e tessere. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*, pp. 1660–1677. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-548.92>.
- Bekele K. M. et al. (2018). A Survey of Augmented, Virtual, and Mixed Reality for Cultural Heritage. In *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage* Vol. 11, Issue 2, pp. 1–37. <https://doi.org/10.1145/3145534>.
- Bernardello R. A., Friso I., Piccinin G. (2020). Tecnologie immersive per la valorizzazione del patrimonio storico. I modelli digitali della Scuola del Carmine. In A. Arena et al. (a cura di). *CONNETTERE. Un disegno per annodare e tessere. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*, pp. 1720–1739. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-548.95>.
- Bianconi F. et al. (2023). Cultural heritage and virtual reality: application for visualization of historical 3D reproduction. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* n. 48, pp. 203–210. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-203-2023>.
- Bozzelli G. et al. (2019). An integrated VR/AR framework for user-centric interactive experience of cultural heritage: The ArkæeVision project. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* Vol. 15. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00124>.
- Brusaporci S., Trizio I. (2013). La 'Carta di Londra' e il Patrimonio Architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione. In *SCIRES-IT - SCientific REsearch and Information Technology* Vol. 3, n. 2, pp. 55–68. <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v3n2p55>.
- Calisi D., Botta S. (2022). Virtual reality and captured reality for cultural landscape communication. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. 46, pp. 113–120. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-113-2022>.
- Capriotti G. (2016). "Parlando per figure ed immagini". Ipotesi sui bassorilievi delle "Grotte Campana" di Osimo oltre l'Iconologia di Cesare Ripa. In *Il Campana. Trecento anni di storia*, pp. 139–160. Ancona: Affinità Elettive.
- Cianci M. G. et al. (2023). Digital twin ed esperienza immersiva in VR: il caso studio dell'ex mattatoio di Testaccio, Roma. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*. Palermo, 14-15-16 settembre 2023, pp. 2595–2612. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-1016-c424>.
- Clini P. et al. (2019). The integrated survey of narrow spaces and underground architecture: the case study of Campana Cave bas-reliefs. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. 42, pp. 277–282. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-277-2019>.
- Clini P. et al. (2020). Realtà virtuale e potenzialità dei facsimili digitali per i musei. Il caso dello Studiolo del Duca di Urbino. In *Disegnare Idee Immagini* Vol. 61, pp. 56–67.
- Clini P. et al. (2022). La digitalizzazione per la documentazione, lo studio e la fruizione di un sito archeologico. La VR experience del teatro di Ricina. In *Archeologia e Calcolatori* Vol. 33.1, pp. 279–296.
- Clini P. et al. (2023). Enhancing onsite and online museum experience through digital reconstruction and reproduction: the Raphael and Angelo Colocci temporary exhibition. In *Scires* Vol. 2, pp. 71–84. <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v13n2p71>.
- De Paolis L. T. et al. (2022). Virtual reality for the enhancement of cultural tangible and intangible heritage: The case study of the Castle of Corsano. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* Vol. 27, p. 238. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2022.e00238>.
- Di Gregorio G. (2023). La chiesa di Santa Maria la Vetere a Militello, nella tradizione tra reale e virtuale. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*. Palermo, 14-15-16 settembre 2023, pp. 1211–1230. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-1016-c461>.
- D'Orazio, M. et al. (2020). Sustainable fruition as a preventive conservation strategy for hypogeum artefacts. In *Journal of Cultural Heritage* Vol. 46, pp. 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.07.011>.
- Direzione generale Musei - MIBACT (2019). *Piano Triennale per la Digitalizzazione dei Musei Documento di sintesi Il contesto*. <http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/08/Abstract-Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l%E2%80%99Innovazione-dei-Musei.pdf> (consultato il 16.02.2024).
- Europe Council Treaty Office. (2005). *Council of Europe Framework Convention on the Value of Cultural Heritage for Society - Faro's Convention*. <https://www.coe.int/en/web/culture-and-heritage/faro-action-plan> (consultato il 16.02.2024).
- Europeana (2020). *Europeana-Strategy 2020-2025*. <https://pro.europeana.eu/page/strategy-2020-2025-summary> (consultato il 29.07.2024).
- Ferdani D. et al. (2020). 3D reconstruction and validation of historical background for immersive VR applications and games: The case study of the Forum of Augustus in Rome. In *Journal of Cultural Heritage* Vol. 43, pp. 129–143. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.12.004>.
- Ferdani D. et al. (2023). Brancacci chapel in Florence: Surveying and real-time 3D simulation for conservation and communication purposes. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* Vol. 48, pp. 535–540. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-535-2023>.
- Günay S. (2022). Virtual reality for lost architectural heritage visualization utilizing limited data. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. 46, pp. 253–257. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-253-2022>.

Katsouri I. et al. (2015). Visualizing and assessing hypotheses for marine archaeology in a VR CAVE environment. In *Journal on Computing and Cultural Heritage* Vol. 8(2). <https://doi.org/10.1145/2665072>.

Laboratorio per il Turismo Digitale. (2014). *Piano strategico per la digitalizzazione del turismo italiano*. <https://www.senato.it/application/xmanager/projects/leg17/attachments/documento_evento_procedura_commissione/files/000/001/984/TDLAB_Piano_strategico.pdf> (consultato il 29.07.2024).

Leopardi A. et al. (2021). X-reality technologies for museums: a comparative evaluation based on presence and visitors experience through user studies. In *Journal of Cultural Heritage* Vol. 47, pp. 188–198.

Liaskos O. et al. (2022). Development of the Virtual Reality Application: "The Ships of Navarino." In *Applied Sciences* Vol. 12(7), p. 3541. Switzerland. <<https://doi.org/10.3390/app12073541>>.

Marto A. et al. (2022). A survey of multisensory VR and AR applications for cultural heritage. In *Computers and Graphics* Vol. 102, pp. 426–440. Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.10.001>.

Masserano, S. (2023). Dai disegni analogici all'esplorazione in ambiente immersivo: la Stazione Autocorriere di U. Nordio. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*. Palermo, 14-15-16 settembre 2023, pp. 1687-1708. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-1016-c372>.

Medici, M., Ferrari, F. (2020). Rilievo e documentazione del museo Tesla a Zagabria per la valorizzazione mediante applicazioni di AR e VR. In A. Arena et al. (a cura di). *CONNETTERE. Undisegno per annodare e tessere. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*, pp. 2414–2433. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-548.132>.

Medici, M., Ferrari, F. (2021). Realtà Virtuale e Aumentata per la valorizzazione dell'Historical Archives Museum di Hydra. In A. Arena et al. (a cura di). *CONNETTERE. Un Disegno per Annodare e Tessere. Linguaggi Distanze Tecnologie. Atti del 42° Convegno Internazionale Dei Docenti Delle Discipline Della Rappresentazione*, pp. 2471–2492. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-693.139>.

Reilly P. (1990). Towards a Virtual Archaeology. In S. Rahtz, K. Lockyear (a cura di), *Atti del CAA90. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*, pp. 132-139. Oxford: Tempus Reparatum.

Spallone R. et al. (2021). AR e VR per la comunicazione e fruizione del patrimonio al Museo d'Arte Orientale di Torino. In A. Arena, A. Arena et al. (a cura di). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere. Linguaggi Distanze Tecnologie. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*, pp. 2659-2676. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-693.150>.

Spallone R. et al. (2022). AR and VR for enhancing museums'heritage through 3D reconstruction of fragmented statue and architectural context. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. 46, pp.473–480. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-473-2022>.

Spallone R. et al. (2023). Re-contextualizing the standing Sekhmet statues in the Temple of Ptah at Karnak through digital reconstruction and VR experience. In *DISEGNARECON* Vol. 16, n. 31, pp. 4.1-4.9. <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.31.2023.4>.

Stone R. J. (1999). Virtual heritage. In *UNESCO's World Heritage Magazine*, pp. 18–20.

Walmsley A. P. et al. (2023). Virtual Reality for Spatial Research in Archaeology: Proto-typing 3D Reconstruction Tools for the Site of Yeha, Ethiopia. In *German Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation*, pp. 123-133.

Wisher I., Pettitt P., Kentridge R. (2023). Conversations with Caves: The Role of Pareidolia in the Upper Palaeolithic Figurative Art of Las Monedas and la Pasiega (Cantabria, Spain). In *Cambridge Archaeological Journal* n. 66, pp. 1-24. <https://doi.org/10.1017/S0959774323000288>.

Autori

Paolo Clini, Università Politecnica delle Marche, p.clini@univpm.it.
Renato Angeloni, Università Politecnica delle Marche, rangeloni@univpm.it.
Mirco D'Alessio, Università Politecnica delle Marche, m.dalessio@univpm.it.
Umberto Ferretti, Università di Roma La Sapienza, umberto.ferretti@uniroma1.it.

Per citare questo capitolo: Clini Paolo, Angeloni Renato, D'Alessio Mirco, Ferretti Umberto (2024). Narrare l'inaccessibile: un virtual immersive movie per le grotte di Palazzo Campana/Narrating the inaccessible: a virtual immersive movie for the caves of Palazzo Campana. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2647-2666.

Narrating the inaccessible: a virtual immersive movie for the caves of Palazzo Campana

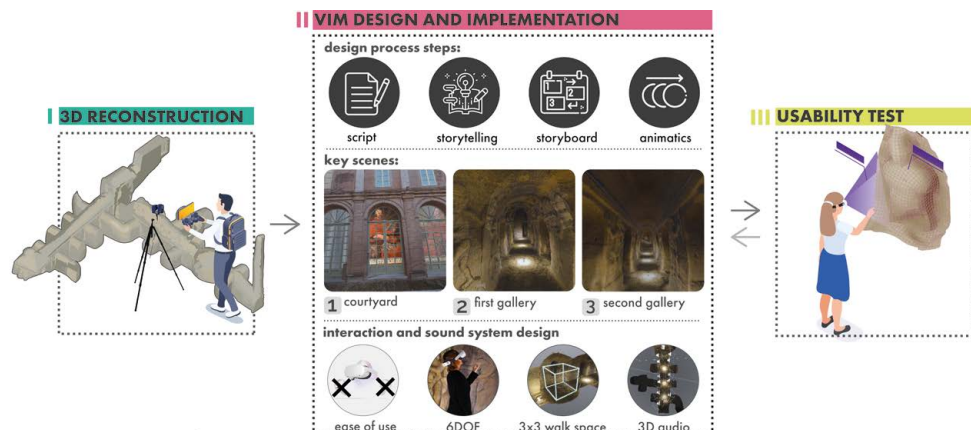
Paolo Clini
Renato Angeloni
Mirco D'Alessio
Umberto Ferretti

Abstract

This contribution falls within the realm of solutions for the digital experience of Cultural Heritage, leveraging immersive virtual reality as a tool to access a physically inaccessible location. Specifically, the research aims to define and test an alternative visit of the caves of Palazzo Campana in Osimo (Marche, Italy), an enigmatic and historically rich site currently closed to the public for conservation reasons. The starting point is the digital replica of its galleries, created from laser scans and high-resolution panoramic images, subsequently optimized for virtual exploration through a headset. By crafting an emotionally engaging narrative, based on content derived from historiographical studies conducted on the Palace and its caves, it was possible to create a virtual immersive movie, an experience that simulates a guided tour enriched with animations and interactions synchronized with the narration and movements of the visitor. The results of the user experience evaluation tests confirmed its effectiveness as a dissemination tool and demonstrated how, in addition to making a cultural site accessible, such solutions can raise public awareness regarding the themes of its protection and conservation.

Keywords

virtual reality, virtual immersive movie, digital replica, immersive storytelling, underground cultural heritage.



Workflow for creating the experience. (I) 3D reconstruction; (II) Design and development of the Virtual Immersive Movie; (III) User experience evaluation test. Elaboration by the authors.

Introduction

The use of digital technologies in the field of Cultural Heritage (CH) has opened new possibilities for its preservation and experience. Today, various forms of narration and virtual experiences make CH increasingly accessible. Among these, Immersive Virtual Reality (IVR), which enables to combine accurate 3D reconstructions with engaging storytelling, stands out as a particularly effective technological tool for the experience of cultural sites, whether they are existing or reconstructed based on historical research.

In this context, the present contribution proposes an innovative form of virtual narration capable of making even physically inaccessible places accessible. This is exemplified by the proposed case study: underground galleries carved into sandstone and adorned with bas-reliefs, which are currently closed to the public to protect their delicate surfaces and ensure their preservation.

State of the art

Several research have demonstrated the great potential of digital technologies in supporting the conservation and experience of CH [Banfi et al. 2021; Bernardello et al. 2020; Bianconi et al. 2023; Calisi et al. 2022; Günay 2022; Medici et al. 2021; Spallone et al. 2021; Spallone et al. 2022]. Significant progress has been made since the early experiments in digital graphics dating back to the last two decades of the previous century [Reilly 1990; Stone 1999]; through the definition of best practices and the drafting of International Charters [Brusaporci et al. 2013; Europe Council Treaty Office 2005], to national [Direzione generale Musei - MIBACT 2019; Laboratorio per il Turismo Digitale 2014] and international [Europeana 2020] programmatic and strategic plans.

Thanks to the continuous improvement in device performance and a significant reduction in costs, there has been a considerable spread of the use of eXtended Reality (XR) digital technologies in the CH field [Bekele et al., 2018]. Various tools are available today: CAVE, pseudo-holograms, and VR headsets are among the most effective for the degree of immersion and user engagement they offer [Leopardi et al., 2021]. Specifically, in relation to the use of VR headsets, numerous applications can be found in the CH field, which can be divided into two macro-categories: existing environments and the reconstruction of what no longer exists. The first group includes all virtual experiences based on digitization through image acquisitions or laser scans [Cianci et al. 2023; Clini et al. 2020; De Paolis et al. 2022; Di Gregorio 2023; Ferdani et al. 2023; Medici et al. 2020; Wisher et al. 2023]. The second macro-category includes numerous works related to archaeological reconstructions, allowing the exploration of entire sites or individual architectures that no longer exist, offering a visualization of how they appeared in the past [Bozzelli et al. 2019; Clini et al. 2022; Ferdani et al. 2020; Katsouri et al. 2015; Liaskos et al. 2022; Spallone et al. 2023; Walmsley et al. 2023]. Also related to this second macro-category are several applications in the fields of painting and architectural design, which propose new forms of artistic interpretation by transitioning from the two-dimensionality of the painting [Clini et al. 2023] and the design drawing [Masserano 2023] to the three-dimensionality and immersiveness of the virtual experience. Regardless of the specific field, various studies have highlighted how the communicative potential of IVR is further amplified by the inclusion of narrative and emotional aspects related to the auditory or multisensory sphere [Martó et al. 2022].

Research aim and case study

In this context, the present contribution describes and validates an innovative form of CH experience based on immersive exploration of a digital replica. The process of generating the virtual experience starts from the knowledge of the site and its accurate three-dimensional representation, utilizing the hybridization of different languages to create an emo-

tionally engaging experience. The goal of this work is to create an effective alternative to physical visits for the cultural site identified as the case study: the network of underground galleries extending beneath Palazzo Campana in Osimo (Marche, Italy) (fig. 1). Numerous studies have addressed the theme of the bas-relief decorations that adorn its two main galleries: enigmatic allegorical representations of continents, human virtues, and religious and mythological themes. However, the poor state of preservation does not allow



Fig. 1. Top left, main elevation, and inner courtyard of Palazzo Campana; bottom, portion of the decorative apparatus that characterizes the underground galleries. Pictures by the authors.

for a clear interpretation of all the depictions, which have been damaged over the centuries by various uses of the caves. Recent studies [D’Orazio et al. 2020] have shown that the continuous flow of visitors causes temperature and humidity variations that can further damage the already fragile sandstone figures. For this reason, public access has been prohibited, and an IVR experience has been identified as a solution to keep this heritage accessible while ensuring its preservation.

Virtual immersive experience of digital replicas

Digital documentation plays a crucial role in generating an immersive virtual experience of a cultural site, which can be inaccessible for its preservation. To this end, data derived from laser scans and high-resolution panoramic image acquisition have been combined to generate an accurate three-dimensional reconstruction of the underground galleries beneath Palazzo Campana [Clini et al. 2019], which was further edited and optimized for VR experience.

Initially, a highpoly mesh was semi-automatically obtained from the point cloud resulting from the laser scans, using the scan-to-mesh tool in Leica Cyclone 3DR software. The mesh was then edited to remove topological errors and textured by projecting panoramic images onto its surface. Finally, the model was imported into the software Blender to generate a low-poly version and perform color and normal baking on it, using the high-poly version as a reference (fig. 2).

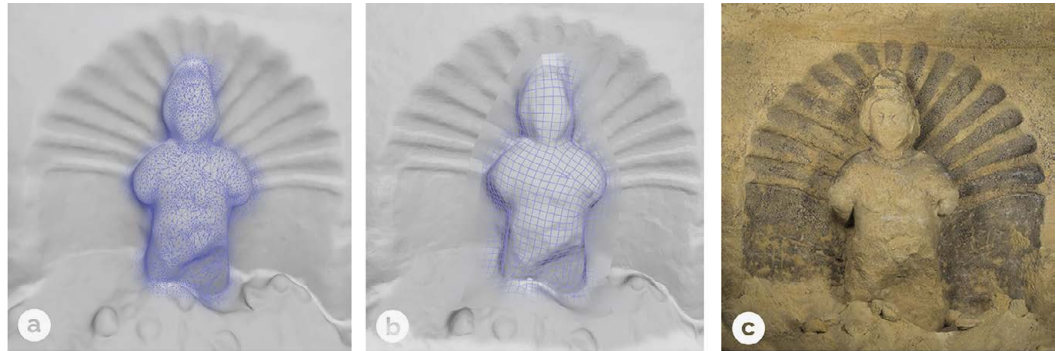


Fig. 2. Above, depiction of Venus: (a) high-poly mesh model, (b) low-poly mesh model, (c) low-poly model after the baking process. Below, model of the caves of *Palazzo Campana*, view of the Venus room located at the end of the first underground gallery. Pictures and elaborations by the authors.

VIM desing and implementation

With the aim of developing a virtual tour capable of emotionally engaging users, a narrative structure for the caves has been established in the form of a Virtual Immersive Movie (VIM), which is a cinematic experience where the viewer is completely immersed in the virtual context, freely interacts with it, but follows a guided and predefined narrative evolution. Therefore, a standard cinematic workflow structured in four phases was adopted: screenplay development, storytelling, storyboard creation, and animation of the storyboard (animatics). Initially, the cultural themes to be addressed were outlined, bringing to light four main topics: historical contextualization, the relationship between the system of underground galleries and the palace, the decorative elements within the caves, and the fragility of the sandstone of which the caves are made. Subsequently, these crucial themes were transformed into a narrative structure suitable for the VIM. The entire experience was designed as a guided tour;

Fig. 3. Conceptualization of the three key scenes: introduction to the history of Palazzo Campana and its galleries, visit to the first gallery (mythological theme), visit to the second gallery (allegorical depictions). Elaborations by the authors.

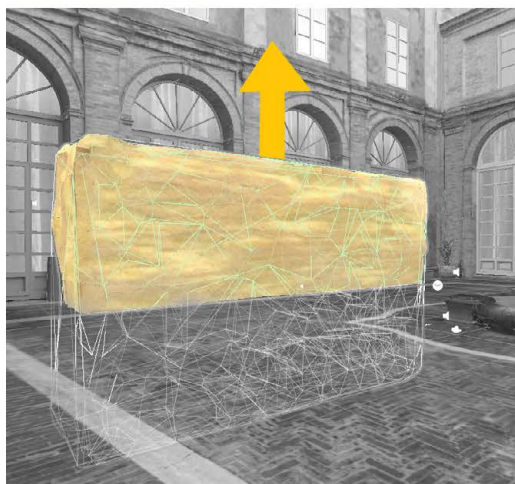
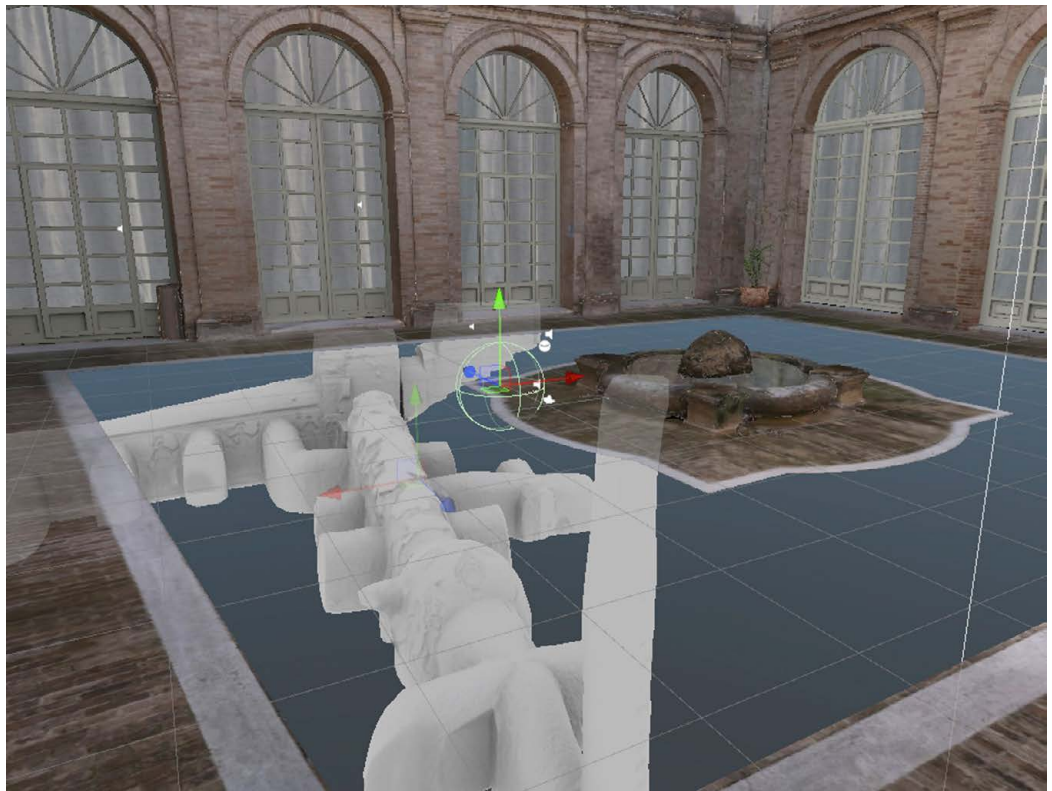


Fig. 4. Above, view of the inner courtyard and the underlying caves in the game engine *Unity*. Below, conceptualization of some of the animations available in the experience: generation and fragmentation of a sandstone block; emission of light from the bas-reliefs synchronized with their audio-description.

utilizing a narrator's voice and visual animations to enhance users' sense of immersion in this virtual journey. Based on this narrative framework, three key scenes were identified: the introduction, set in the main courtyard of Palazzo Campana, which includes historical and morphological contextualization of the caves with respect to the palace; the exploration of the first underground gallery, with its bas-reliefs depicting mythological characters such as Paris and Mercury; and finally, the exploration of the second gallery, adorned with allegorical figures representing the continents, following Cesare Ripa's iconography [Capriotti 2016] (fig. 3).

The narrative design also involved planning and schematizing the main animations conceived for the experience; dynamic elements such as the appearance of depictions of illustrious characters linked to the artistic and cultural life of Palazzo Campana, the identification of the caves through the fading of the courtyard pavement, the generation and fragmentation of a sandstone block, and the animation of the decorative system through light emission, were meticulously integrated (fig. 4). At the end of the narrative design phase, attention shifted to the development of the experience for the Meta Quest 2 HMD. The software Blender was used to create the final 3D environment, integrating the digital replica of the courtyard and underground gallery spaces with manually modeled objects, while the game engine Unity 3D and Meta's standard assets were used to integrate content and interactions and generate the application necessary for experiencing the VIM. The entire system was timed and programmed using C# scripts (fig. 5).

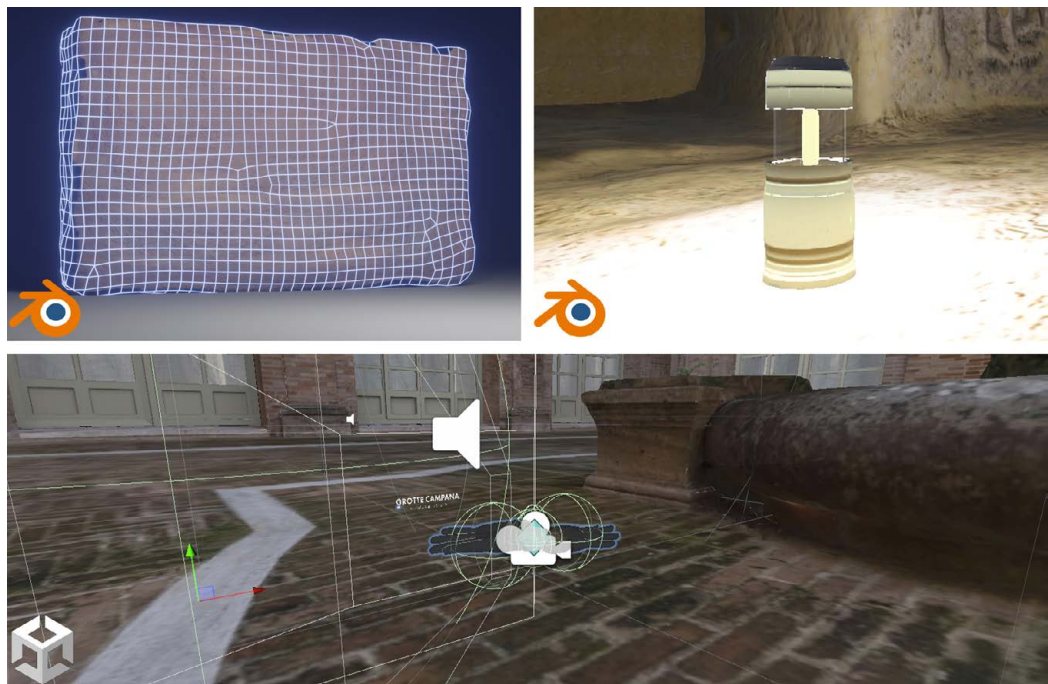


Fig. 5. Top, elements manually modeled within Blender software. Bottom, integration of content, animations, and interactions in the game engine Unity.

Considering the experience within the museum setting it will be a part of and the expected duration (approximately 8 minutes), it was decided to adopt a simplified interaction system as much as possible. Object manipulation was excluded, a choice that eliminates the need for controllers or hand tracking, simplifying the user training phase. Furthermore, due to the extensive length of the galleries, both exceeding 9 meters in length and with an average width of about 1.5 meters, navigating the virtual environment posed a critical challenge due to the limited exhibition space in which it will be experienced. Thus, the VIM was designed to be experienced in a physical area of 3x3 meters, allowing users to explore a confined section of the underground galleries.

At the end of the narrative for the visited portion, the user is automatically repositioned at the center of the next area of interest, following the narrative proposed for the entire complex. This ensures that the narrator's voice, sound effects, and music remain synchronized with the user's movements, significantly enhancing immersion. Additionally, to avoid waiting during loading times and ensure smooth usage, each scene transition is accompanied by a fade-in and fade-out effect.

The interpretation of the narrative text was integrated with sound effects, created through 3D spatial audio that suggests the bas-relief to be observed by the user. An original soundtrack was composed for the VIM, further increasing its emotional impact. To further facilitate ease of use, utilizing the proximity sensor, the HMD recognizes the user's absence and automatically restart the experience. This feature is particularly useful in a museum context, as it eliminates any need for external assistance in transitioning between different user (fig. 6).



Fig. 6. Frames from the Virtual Immersive Movie: (a) appearance of paintings of illustrious men linked to the history of Palazzo Campana; (b) visualization of the galleries below the courtyard; (c) fragmentation of the sandstone block highlighting its fragility; (d) appearance of the coats of arms of the noble families of Osimo depicted in the bas-reliefs; (e) illumination of the decorative apparatus to support its dynamic narration; (f) detail of the surface of one of the bas-reliefs. Pictures and elaborations by the authors.

User experience evaluation test

The virtual experience was evaluated using a satisfaction questionnaire, the results of which demonstrated the effectiveness of the proposed solution in stimulating user emotional involvement and curiosity.

The questionnaire was structured into 15 statements associated with 5 dimensions of the experience: authenticity, interaction, navigation, learning, and audience broadening. Each user expressed their level of agreement on a scale from 1 to 5. The reliability of the test was measured and confirmed using Cronbach's alpha model, evaluated for each of the five dimensions considered.

Over 94% of the responses were represented by "Strongly agree" and "Partially agree", demonstrating that the majority of subjects were satisfied with the experience. Excellent results were found particularly regarding the realism of the virtual environment and the interest aroused by the provided information.

Additionally, 90% of users rated themselves as "Strongly agree" in terms of recommending this experience to others, and in terms of being interested in further similar virtual reality experiences (fig. 7).

Questionnaire results

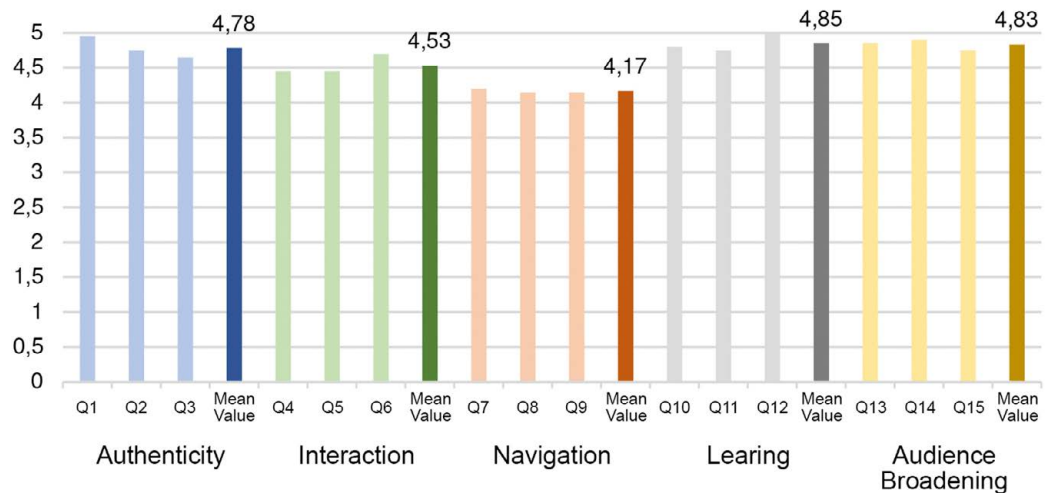


Fig. 7. Results and average of the 3 questions associated with each of the 5 dimensions considered within the user experience evaluation test. Elaboration by the authors.

Conclusions and future works

This contribution addressed the use of VR as a tool to narrate and ensure accessibility to a cultural site even when safety concerns or its fragility prevent physical visits. The developed solution proved extremely effective in allowing users to explore the underground galleries of Palazzo Campana, understanding their features and history. The high level of visual detail of the digital replica, as also highlighted by the UX test results, contributed to making the experience more realistic and immersive, and, above all, to ensuring adequate understanding of the conservation status of the caves. The majority of participants indeed showed a significant increase not only in interest in the site but also in awareness of the importance of its conservation, a result that underscores how these technologies can be useful in sensitizing users to the conservation needs of cultural heritage. The presented results also highlighted widespread appreciation for the proposed narrative mode; the VIM proved effective for integrating the narrative, guided by the off-screen voice, with sound effects and animations that substantially increased the sense of immersion, without sacrificing an immediate user experience, which requires no visitor training, allowing them to simply put on the headset and explore the caves.

Future developments will focus on enhancing interactions and gamification to offer users an even more stimulating experience, and on further exploring hybrid approaches involving interactions between virtual and physical reproductions.

References

- Banfi F., Oreni D., Bonini J. A. (2021). L'Arco della Pace di Milano e la sua memoria storica: dal rilievo 3D e HBIM alla mixed reality (VR-AR). In A. Arena et al. (a cura di). *CONNETTERE. Un disegno per annodare e tessere. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*, pp. 1660–1677. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-548.92>.
- Bekele K. M. et al. (2018). A Survey of Augmented, Virtual, and Mixed Reality for Cultural Heritage. In *ACM Journal on Computing and Cultural Heritage* Vol 11, Issue 2, pp 1-37. <https://doi.org/10.1145/3145534>.
- Bernardello R. A., Friso I., Piccinin G. (2020). Tecnologie immersive per la valorizzazione del patrimonio storico. I modelli digitali della Scuola del Carmine. In A. Arena et al. (Eds.). *CONNETTERE. Un disegno per annodare e tessere. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*, pp. 1720–1739. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-548.95>.
- Bianconi F. et al. (2023). Cultural heritage and virtual reality: application for visualization of historical 3D reproduction. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* n. 48, pp. 203–210. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-203-2023>.
- Bozzelli G. et al. (2019). *An integrated VR/AR framework for user-centric interactive experience of cultural heritage: The ArkaeVision*

project. in *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* Vol. 15. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00124>.

Brusaporci S., Trizio I. (2013). La 'Carta di Londra' e il Patrimonio Architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione. In *SCIRES-IT - SCientific REsearch and Information Technology* Vol. 3, n. 2, pp. 55–68. <http://dx.doi.org/10.2423/122394303v3n2p55>.

Calisi D., Botta S. (2022). Virtual reality and captured reality for cultural landscape communication. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. 46, pp. 113–120. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-113-2022>.

Capriotti G. (2016). "Parlando per figure ed immagini". Ipotesi sui bassorilievi delle "Grotte Campana" di Osimo oltre l'Iconologia di Cesare Ripa. In *Il Campana. Trecento anni di storia*, pp. 139–160. Ancona: Affinità Elettive.

Cianci M. G. et al. (2023). Digital twin ed esperienza immersiva in VR: il caso studio dell'ex mattatoio di Testaccio, Roma. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (Eds.), *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*. Palermo, 14-15-16 settembre 2023, pp. 2595–2612. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-1016-c424>.

Clini P. et al. (2019). The integrated survey of narrow spaces and underground architecture: the case study of Campana Cave bas-reliefs. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. 42, pp. 277–282. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-277-2019>.

Clini P. et al. (2020). Realtà virtuale e potenzialità dei facsimili digitali per i musei. Il caso dello Studiolo del Duca di Urbino. In *Disegnare Idee Immagini* Vol. 61, pp. 56–67.

Clini P. et al. (2022). La digitalizzazione per la documentazione, lo studio e la fruizione di un sito archeologico. La VR experience del teatro di Ricina. In *Archeologia e Calcolatori* Vol. 33.1, pp. 279–296.

Clini P. et al. (2023). Enhancing onsite and online museum experience through digital reconstruction and reproduction: the Raphael and Angelo Colocci temporary exhibition. In *Scires* Vol. 2, pp. 71–84. <http://dx.doi.org/10.2423/122394303v13n2p71>.

De Paolis L. T. et al. (2022). Virtual reality for the enhancement of cultural tangible and intangible heritage: The case study of the Castle of Corsano. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* Vol. 27, p. 238. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2022.e00238>.

Di Gregorio G. (2023). La chiesa di Santa Maria la Vetere a Militello, nella tradizione tra reale e virtuale. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (Eds.), *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*. Palermo, 14-15-16 settembre 2023, pp. 1211–1230. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-1016-c461>.

D'Orazio, M. et al. (2020). Sustainable fruition as a preventive conservation strategy for hypogeum artefacts. In *Journal of Cultural Heritage* Vol. 46, pp. 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.07.011>.

Direzione generale Musei - MIBACT (2019). *Piano Triennale per la Digitalizzazione dei Musei Documento di sintesi Il contesto*. <<http://musei.beniculturali.it/wp-content/uploads/2019/08/Abstract-Piano-Triennale-per-la-Digitalizzazione-e-l%E2%80%99Innovazione-dei-Musei.pdf>> (accessed 16.02.2024).

Europe Council Treaty Office. (2005). *Council of Europe Framework Convention on the Value of Cultural Heritage for Society - Faro's Convention*. <<https://www.coe.int/en/web/culture-and-heritage/faro-action-plan>> (accessed 16.02.2024).

Europeana (2020). *Europeana-Strategy 2020-2025*. <<https://pro.europeana.eu/page/strategy-2020-2025-summary>> (accessed 29.07.2024).

Ferdani D. et al. (2020). 3D reconstruction and validation of historical background for immersive VR applications and games: The case study of the Forum of Augustus in Rome. In *Journal of Cultural Heritage* Vol. 43, pp. 129–143. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.12.004>.

Ferdani D. et al. (2023). Brancacci chapel in Florence: Surveying and real-time 3D simulation for conservation and communication purposes. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* Vol. 48, pp. 535–540. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-535-2023>.

Günay S. (2022). Virtual reality for lost architectural heritage visualization utilizing limited data. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. 46, pp. 253–257. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-253-2022>.

Katsouri I. et al. (2015). Visualizing and assessing hypotheses for marine archaeology in a VR CAVE environment. In *Journal on Computing and Cultural Heritage* Vol. 8(2). <https://doi.org/10.1145/2665072>.

Laboratorio per il Turismo Digitale. (2014). *Piano strategico per la digitalizzazione del turismo italiano*. <https://www.senato.it/application/xmanager/projects/leg17/attachments/documento_evento_procedura_commissione/files/000/001/984/TDLAB_Piano_strategico.pdf> (accessed 29.07.2024).

Leopardi A. et al. (2021). X-reality technologies for museums: a comparative evaluation based on presence and visitors experience through user studies. In *Journal of Cultural Heritage* Vol. 47, pp. 188–198.

Liaskos O. et al. (2022). Development of the Virtual Reality Application: "The Ships of Navarino." In *Applied Sciences* Vol. 12(7), p. 3541. Switzerland. <<https://doi.org/10.3390/app12073541>>.

Marto A. et al. (2022). A survey of multisensory VR and AR applications for cultural heritage. In *Computers and Graphics* Vol. 102, pp. 426–440. Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.10.001>.

Masserano, S. (2023). Dai disegni analogici all'esplorazione in ambiente immersivo: la Stazione Autocorriere di U. Nordio. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (Eds.), *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della*

Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno. Palermo, 14-15-16 settembre 2023, pp. 1687-1708. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-1016-c372>.

Medici, M., Ferrari, F. (2020). Rilievo e documentazione del museo Tesla a Zagabria per la valorizzazione mediante applicazioni di AR e VR. In A. Arena et al. (Eds.). *CONNETTERE. Undisegno per annodare e tessere. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*, pp. 2414–2433. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-548.132>.

Medici, M., Ferrari, F. (2021). Realtà Virtuale e Aumentata per la valorizzazione dell'Historical Archives Museum di Hydra. In A. Arena et al. (Eds.). *CONNETTERE. Un Disegno per Annodare e Tessere. Linguaggi Distanze Tecnologie. Atti del 42° Convegno Internazionale Dei Docenti Delle Discipline Della Rappresentazione*, pp. 2471–2492. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-693.139>.

Reilly P. (1990). Towards a Virtual Archaeology. In S. Rahtz, K. Lockyear (Eds.), *Atti del CAA90. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*, pp. 132-139. Oxford:Tempus Reparatum.

Spallone R. et al. (2021). AR e VR per la comunicazione e fruizione del patrimonio al Museo d'Arte Orientale di Torino. In A. Arena, A. Arena et al. (Eds.). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere. Linguaggi Distanze Tecnologie. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione Congresso della Unione Italiana per il Disegno*, pp. 2659-2676. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-693.150>.

Spallone R. et al. (2022). AR and VR for enhancing museums'heritage through 3D reconstruction of fragmented statue and architectural context. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. 46*, pp.473–480. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-473-2022>.

Spallone R. et al. (2023). Re-contextualizing the standing Sekhmet statues in the Temple of Ptah at Karnak through digital reconstruction and VR experience. In *DISEGNARECON* Vol. 16, n. 31, pp. 4.1-4.9. <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.31.2023.4>.

Stone R. J. (1999). Virtual heritage. In *UNESCO's World Heritage Magazine*, pp. 18–20.

Walmsley A. P. et al. (2023). Virtual Reality for Spatial Research in Archaeology: Proto-typing 3D Reconstruction Tools for the Site of Yeha, Ethiopia. In *German Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation*, pp. 123-133.

Wisher I., Pettitt P., Kentridge R. (2023). Conversations with Caves: The Role of Pareidolia in the Upper Palaeolithic Figurative Art of Las Monedas and la Pasiega (Cantabria, Spain). In *Cambridge Archaeological Journal* n. 66, pp. 1-24. <https://doi.org/10.1017/S0959774323000288>.

Authors

Paolo Clini, Università Politecnica delle Marche, p.clini@univpm.it.

Renato Angeloni, Università Politecnica delle Marche, r.angeloni@univpm.it.

Mirco D'Alessio, Università Politecnica delle Marche m.dalessio@univpm.it.

Umberto Ferretti, Università di Roma La Sapienza, umberto.ferretti@uniroma1.it.

To cite this chapter: Clini Paolo, Angeloni Renato, D'Alessio Mirco, Ferretti Umberto (2024). Narrare l'inaccessibile: un virtual immersive movie per le grotte di Palazzo Campana/Narrating the inaccessible: a virtual immersive movie for the caves of Palazzo Campana. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2647-2666.