



Digital twin ed esperienza immersiva in VR: il caso studio dell'ex mattatoio di Testaccio, Roma

Maria Grazia Cianci
Daniele Calisi
Stefano Botta
Sara Colaceci
Matteo Molinari
Michela Schiaroli

Abstract

La ricerca presentata approfondisce i temi del *Captured Reality* e *Virtual Reality* nell'ambito della divulgazione culturale, valutando opportunità e limitazioni derivanti dall'unione fra *digital twins* ed esperienze immersive al fine di produrre modelli divulgativi. All'interno di tali argomenti si inserisce il tema del *virtual museum*, su cui si generano le riflessioni sulla trasformazione del museo da luogo contenitore a spazio digitale illimitato, sulla fruizione del pubblico che diventa partecipe nell'interazione con lo spazio virtuale, sul ruolo della Rappresentazione nell'uso delle ICT per la divulgazione. La VR viene applicata alla progettazione di un museo virtuale sul caso studio dell'ex Mattatoio di Testaccio a Roma. La metodologia ha previsto: acquisizione dati con laser scanner; elaborazione di nuvola di punti, *mesh* texturizzate, modelli NURBS; trasformazione del modello matematico in *mesh*; progettazione e modellazione del museo virtuale. Il concept del museo si basa su un nastro rosso che si snoda intercettando vari episodi spaziali dal colore nero, che fungono da partizioni fra tematiche espositive differenti. I risultati riguardano la realizzazione di un museo virtuale in cui l'utente, munito di *controller* e visore VR, si immerge nella scena per visitare l'allestimento della mostra virtuale. Dalla collaborazione fra rilievo digitale e tecniche di comunicazione virtuale, il progetto sperimenta le modalità di interazione e coinvolgimento sensoriale.

Parole chiave

captured reality, virtual reality, digital twins, virtual museum, divulgazione



Sezione della mostra che, attraverso il nastro dei *reportage* fotografici, consente l'accesso all'esposizione di architettura contemporanea. Elaborazione grafica degli autori.

Introduzione

La ricerca presentata vuole approfondire l'analisi sulla combinazione di *Captured Reality* e *Virtual Reality* nell'ambito della divulgazione culturale, valutando opportunità e limitazioni derivanti dall'unione fra *digital twins*, repliche fedeli della realtà costruite da rilievi digitali, ed esperienze immersive e interattive, al fine di produrre modelli divulgativi.

In particolare, il tema della VR è stato applicato alla progettazione di un museo virtuale modellato su dati di rilievo acquisiti con laser scanner. Lo studio, pertanto, indaga l'impiego di dinamiche di elementi di intrattenimento e stimolazione multisensoriale come chiavi per la trasmissione attiva di arte e sapere.

Le tematiche appartenenti alla AR/VR sono ormai diventate attuali: numerose ricerche affrontano l'ambiente immersivo e la rappresentazione interattiva nell'ambito della divulgazione del patrimonio culturale [Giordano et al. 2022] (fig. 1). Fra le sperimentazioni del CRCDM della Sunway University in Malesia, l'esperienza VR immersiva *Hidden Waterfall City* sviluppa una replica di un villaggio rurale abbandonato a inizio '900, introducendo elementi interattivi per direzionare l'attenzione dell'utente nell'esplorazione libera di un paesaggio realistico e immersivo [Thwaites et al. 2019].

All'interno di tali argomenti si inserisce il tema del *virtual museum*, sul quale si generano le riflessioni sulla trasformazione del museo da luogo contenitore a spazio digitale illimitato, sulla fruizione del pubblico che diventa partecipe nell'interazione con lo spazio virtuale, sul ruolo della Rappresentazione nell'uso delle ICT per la divulgazione [Bevilacqua et al. 2021; Camagni 2022; Ippoliti, Albisinni 2016; Palestini, Basso 2016]. Un esempio è il progetto condotto presso la Universidad Nacional de La Plata, volto a digitalizzare attraverso la fotogrammetria alcune opere fornite da musei argentini, al fine di proporre una doppia esperienza espositiva (fig. 2), tramite VR e a schermo, per valutare i due approcci diversi di musealizzazione virtuale [Loaiza Carvajal et al. 2020].

A tal proposito, metodologie, strumenti, modelli derivanti da processi di rilievo e modelli divulgativi sono integrati tra loro per illustrare le possibilità comunicative con cui si può declinare la Rappresentazione.

Tali argomenti sono stati sperimentati sul caso studio dell'ex Mattatoio di Testaccio a Roma, un vasto complesso razionalmente suddiviso in padiglioni. La struttura fu costruita fra il 1888 e il 1891 su progetto di Gioacchino Ersoch, in sostituzione a quella di Piazza del Popolo. I fabbricati sono accomunati dall'impiego uniforme di muratura portante, travertino, strutture in ferro e coperture lignee. Il Mattatoio fu dismesso nel 1975, ospitando nel tempo varie funzioni, fra cui il Dipartimento di Architettura, nonché divenendo oggetto del progetto della Città delle Arti [La storia del Mattatoio e del Campo Boario, 2023].

Il lavoro presentato è stato sviluppato durante un workshop, in prosecuzione con una ricerca pregressa [Cianci et al. 2022], sviluppata nel 2021 presso il Dipartimento di Architettura



Fig. 1. Immagine tratta dall'esperienza VR sviluppata per il Tempio di Valadier (Genga, Italia), il cui scenario è stato realizzato dall'unione fra repliche fotogrammetriche e modellazione manuale. Elaborazione grafica degli autori.

Fig. 2. Confronto fra il modello ligneo *Amsterdam* (a sinistra) e il suo *digital twin* (a destra), esposto nel museo virtuale *Krause Vestigios disponibles*. Loaliza Carvajal et al. 2020, p. 237, fig. 4.



dell'Università di Roma Tre, il quale prevedeva la ricostruzione di uno dei padiglioni dell'ex Mattatoio di Testaccio per creare un museo virtuale in cui ospitare esposizioni temporanee per studenti e visitatori esterni (fig. 3).

Metodologia

La ricerca si concentra sull'area direttamente antistante al Padiglione 2B, sede del primo museo virtuale realizzato. Insieme al macello di fronte, attualmente dismesso, circonda la zona in un ampio passaggio che parte dall'ingresso principale su Piazza Orazio Giustiniani per proseguire verso altri padiglioni a Nord e Ovest.

La metodologia ha previsto una prima fase di acquisizione dati tramite una campagna di rilievo, eseguita con un laser scanner Z+F IMAGER, con cui sono state effettuate nove scansioni, di cui sei lungo l'asse del sito di interesse e tre in zone attigue, così da restituire un'immagine quanto più completa anche di aree non direttamente connesse all'esperienza virtuale. L'accuratezza garantita dallo strumento e la possibilità di ottenere panoramiche in alta risoluzione hanno permesso di sviluppare una nuvola di punti dettagliata dello spazio. L'ex Mattatoio, tuttavia, porta con sé alcune difficoltà tecniche nella fase di rilievo: in primo luogo, la presenza di strutture metalliche articolate e grandi vetrate generano numerosi punti ciechi e disturbi derivanti dalla riflessione nelle parti alte e di copertura; inoltre, la costante presenza di studenti e visitatori passanti complica e inficia in parte le scansioni. Ciò ha comportato molteplici imperfezioni ed elementi da eliminare nelle fasi successive.

Nella seconda fase di elaborazione dati le singole nuvole di punti sono state allineate e unite in un'unica nuvola di punti composta da circa 160 milioni di punti, tramite Autodesk ReCap;



Fig. 3. Vista su una sezione del museo virtuale realizzato nel Padiglione 2B. Elaborazione grafica degli autori.

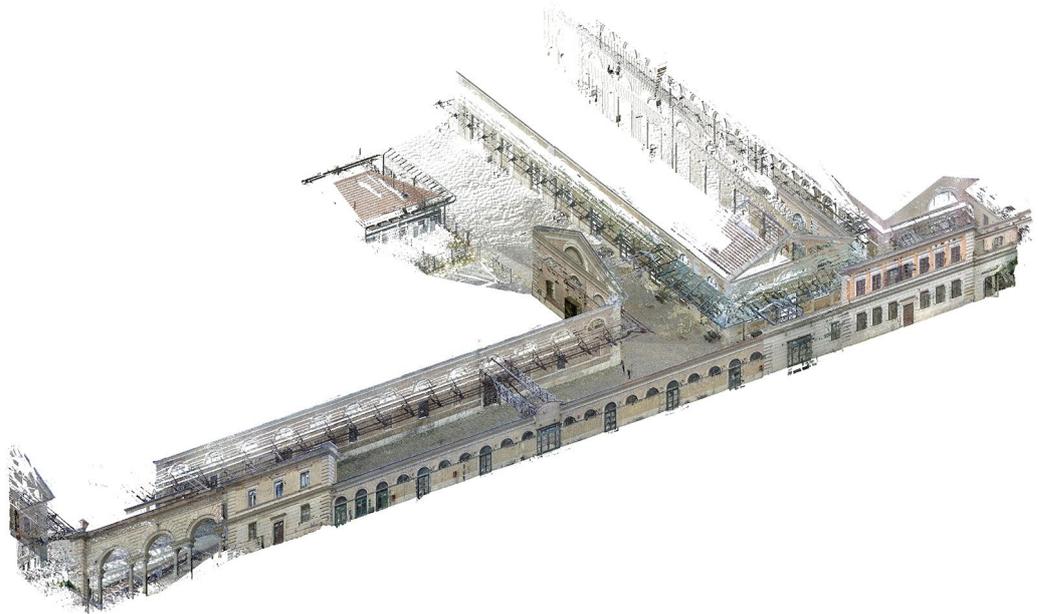


Fig. 4. La *point cloud* dell'area dell'ex Mattatoio, elaborata dalla campagna di rilievo digitale con laser scanner. Elaborazione grafica degli autori.

successivamente si è proceduto a un'attenta pulitura della scena da elementi quali persone e riflessi (figg. 4, 5).

Il rilievo strumentale, pertanto, è finalizzato allo sviluppo dello scenario virtuale dell'esposizione e per tale ragione è stata costruita una replica fedele dell'area esterna compresa tra i padiglioni. La scelta di elaborare un *digital twin* dell'ex Mattatoio permette di avere un riferimento diretto per le successive fasi di modellazione e *texturing* dell'ambiente, garantendo maggior controllo e attendibilità del risultato.

Nella terza fase, la *point cloud* è stata poi esportata su Agisoft Metashape al fine di ottenere una *mesh* texturizzata e ottimizzata da impiegare come riferimento in fase di modellazione. La decisione di non sfruttare direttamente il *digital twin* come scenario virtuale è dipesa in primo luogo dalle sue dimensioni considerevoli, che non garantiscono prestazioni stabili nel *real-time rendering* sulla base della tecnologia a disposizione [1]; inoltre, la presenza di aree non rilevabili porta a lacune visibili dall'interno del modello, difficilmente ricostruibili manualmente e lesive del realismo e dell'immersività della scena [Basso e Calisi 2019, pp. 2414-2425]. Al contrario, una modellazione totalmente manuale, coadiuvata a un dettagliato



Fig. 5. Vista ad occhio umano della *point cloud* dell'ex Mattatoio. È possibile notare, sulla destra, gli artefatti dovuti ai riflessi delle finestre e, sulla sinistra, alcune aree cieche dovute alle strutture metalliche. Elaborazione grafica degli autori.

lavoro su materiali e luci, riesce comunque a garantire un'immagine omogenea e verosimile dell'ambiente virtuale.

Lo scenario digitale è stato quindi elaborato come modello NURBS con Rhinoceros a partire dal confronto diretto con il *digital twin*. Per alcuni elementi significativi, come le modanature e strutture metalliche, sono state prese in considerazione anche foto di dettaglio e scansioni dei progetti originali, fornite dal catalogo digitale dell'AUT [2]. Il modello è stato trasformato in *mesh* e ottimizzato nuovamente mediante *quad-remeshing*, un'operazione che consente di razionalizzare la geometria delle superfici, così da migliorare le prestazioni e garantire un'esperienza più fluida e confortevole per l'utente in VR.

Il Virtual Museum

Il *masterplan* dell'esposizione virtuale esterna dell'ex Mattatoio (fig. 6) si sviluppa tenendo in insieme alcuni punti chiave: la collezione di opere disponibili, il rapporto con il contesto industriale e la relazione con la mostra digitale preesistente del padiglione 2B.

Se in quest'ultimo caso la volontà compositiva era stata quella di dissimulare l'ambiente interno del fabbricato a favore di uno scenario più libero e astratto, in questo secondo studio la direzione è quella di un dialogo più stretto con il contesto rilevato, in cui gli elementi peculiari del Mattatoio divengono parte integrante dello *storytelling* virtuale, mischiandosi alle strutture d'invenzione in un unico organismo dinamico e al contempo rispettoso dei valori del luogo, in cui l'archeologia industriale è chiamata a supporto della musealizzazione digitale. Per creare un evidente raccordo con l'esposizione del Padiglione 2B, viene mantenuto il medesimo linguaggio formale, riproposto in chiave più snella per adattarsi al nuovo contesto. Un unico nastro rosso si dipana lungo l'area, avvolgendosi nello spazio in modo affilato e intercettando vari episodi spaziali, evidenziati dal colore nero, che fungono da partizioni fra tematiche espositive differenti.

Sono stati selezionati schizzi, tavole e modelli 3D prodotti dagli studenti nel corso degli anni, suddivisi in quattro temi e ordinati lungo il percorso espositivo secondo una progressione diacronica e semantica: dai reportage fotografici ai casi studio di architettura contemporanea, procedendo attraverso tavole di analisi di architettura classica fino a concludersi con una sezione dedicata ai Fori Imperiali. Lo sviluppo dei soggetti in rapporto alle sezioni del progetto museale è stato affidato a gruppi di lavoro distinti, ognuno dei quali ha proceduto a definire un abaco dettagliato delle opere da esporre, elaborando l'allestimento in equilibrio fra l'immagine complessiva del *masterplan* con le specifiche necessità del proprio tema (figg. 7, 8).

Particolare attenzione è stata data alla ricerca di elementi interattivi e multimediali come espediente comunicativo per rendere coinvolgente e immersiva l'esperienza virtuale sviluppata: è possibile incontrare proiezioni audiovisive, ologrammi animati e camere sonore. Nonostante l'apparente narrazione lineare, la forma stessa del nastro, con le sue dinamiche,

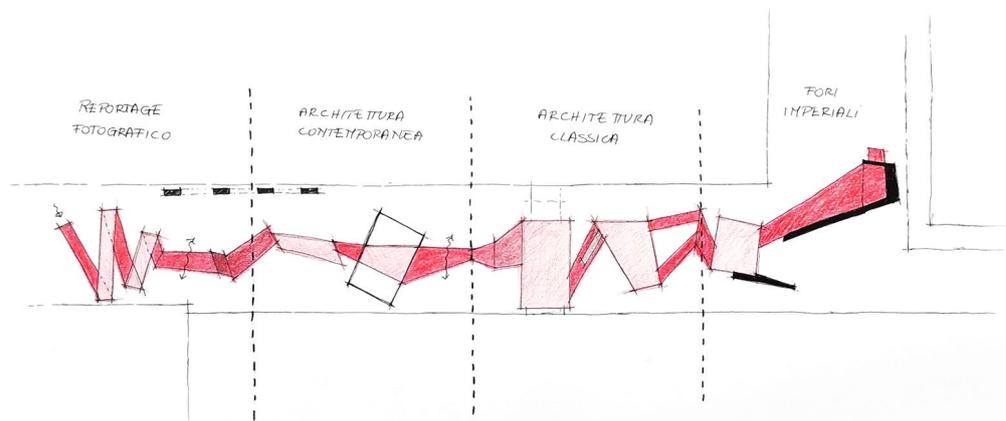


Fig. 6. Masterplan elaborato per l'esposizione virtuale. Elaborazione grafica degli autori.

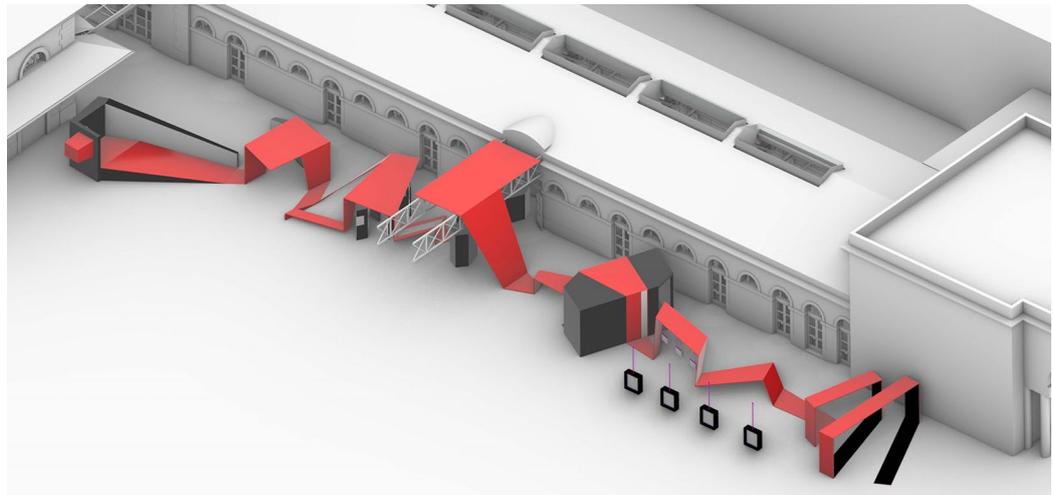


Fig. 7. Illustrazioni elaborate durante il workshop recanti ipotesi progettuali dei vari elementi espositivi e interattivi della mostra. Elaborazione grafica degli autori.

consente al visitatore di tornare sui propri passi, esplorando i medesimi episodi da angolazioni differenti, a prescindere dal punto di partenza.

Nell'ultima fase della ricerca, è stata sviluppata l'esperienza del museo virtuale mediante il software Unreal Engine 5.0 (fig. 9), sfruttando un template per *Virtual Reality* per ridurre e semplificare i processi di programmazione, in quanto gran parte dei controlli e dei movimenti standard risultano già codificati e pronti all'uso.

L'obiettivo è quello di proporre al visitatore un'esperienza museale alternativa, in cui l'immersione in un ambiente digitale realistico e interattivo, permessa attraverso l'impiego di HMD, innesci un'esplorazione coinvolgente dello spazio e una comprensione attiva delle informazioni trasmesse. Il modello base è stato importato nel software per creare un *template* unico su cui ogni gruppo ha lavorato autonomamente, per poi riunire ogni sezione dell'esposizione.

È stato definito un sistema di collisioni complesso, a partire dalle *mesh*, al fine di simulare i limiti fisici all'interno dello scenario. La scelta dei materiali è stata eseguita con attenzione

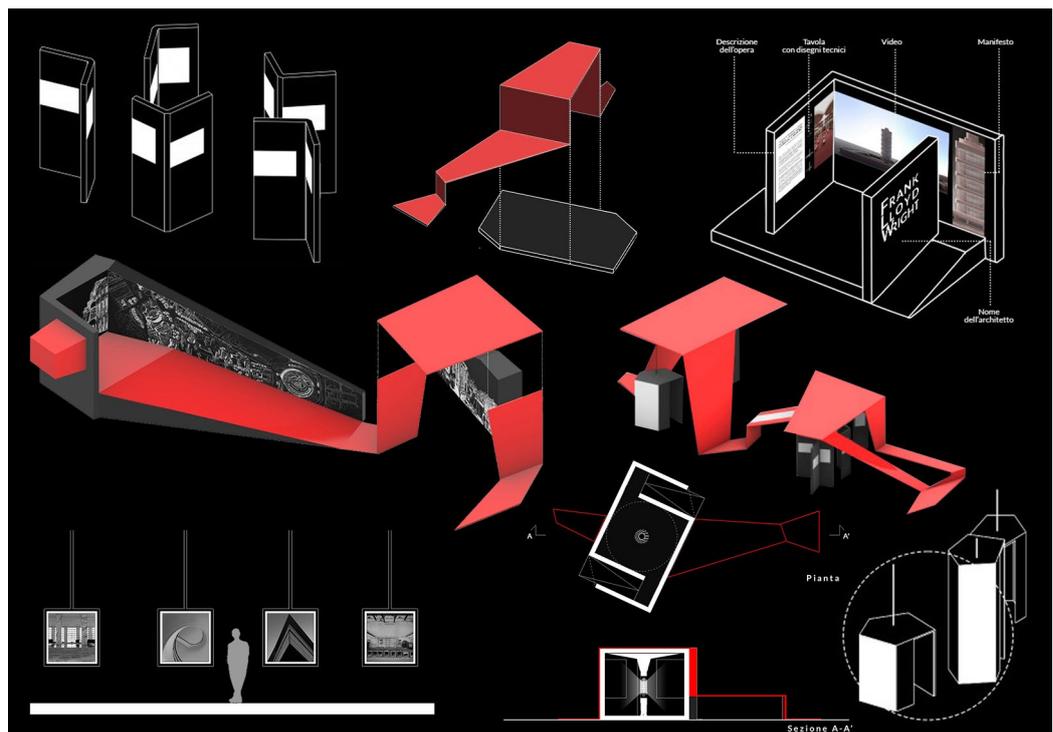


Fig. 8 Modello del progetto museale, in cui si evidenzia il segno del nastro rosso nello spazio e la posizione degli episodi espositivi in nero. Elaborazione grafica degli autori.

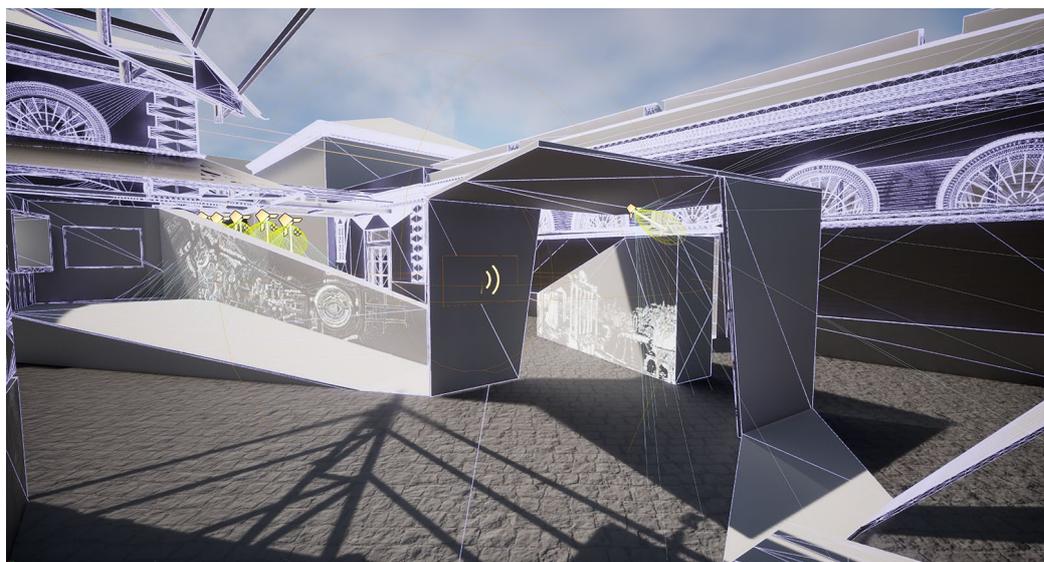


Fig. 9. Immagine catturata dal progetto sviluppato in Unreal Engine 5, in cui è possibile vedere alcuni elementi della scena, come luci, video e suoni, con le rispettive aree di interazione. Elaborazione grafica degli autori.

per replicare in modo fedele l'aspetto dell'area, lasciando maggiore libertà alla connotazione degli elementi espositivi dei singoli episodi museali. I disegni scansionati sono stati applicati anch'essi come materiali a superfici di supporto; in alcuni casi, si è deciso di unire più disegni o foto, per realizzare schermi con animazione a scorrimento. Alcuni dei modelli 3D disponibili per le architetture contemporanee e i Fori Imperiali sono stati trattati con materiali emissivi e trasformati in ologrammi in movimento (fig. 10). Inoltre, sono presenti proiezioni video e sonore attivabili alla presenza dell'utente. L'uso di luci, effetti speciali e suoni spazializzati ha altresì permesso di animare lo spazio, dando vita a un'esposizione ricca di suggestioni sensoriali.

Conclusioni

Munito di controller e visore VR, l'utente si immerge nella scena e viene accolto da un nastro rosso che si avvolge in un portale spiraleforme, lungo cui scorrono fotografie d'architettura che invitano l'utente ad addentrarsi nella mostra (fig. 11), procedendo tra plastici in scala e fotografie appese ad antiche strutture metalliche, fino a raggiungere una camera buia. Questa si accende, illuminata da video e ologrammi di architetture contemporanee, e animata da



Fig. 10. Il Nodo, episodio museale contenente un ologramma sospeso di un progetto di Wright e proiezioni video di architetture contemporanee. Elaborazione grafica degli autori.

Fig. 11. L'ingresso alla mostra attraverso il nastro dei reportage fotografici, seguito dall'esposizione di opere appese alle strutture industriali. Elaborazione grafica degli autori.



una travolgente colonna sonora. Al di fuori, il percorso prosegue nel silenzio contemplativo dell'architettura classica, intercettando l'ingresso all'esposizione del padiglione 2B; qui, camere sonore oscurano completamente la vista del visitatore, avvolgendolo in suggestivi suoni naturali. Infine, una proiezione accoglie l'ospite virtuale verso l'area dei Fori Imperiali, dove una rampa conduce a una meta olografica raffigurante famose architetture romane.

Il progetto è stato presentato durante la *Notte Europea dei Ricercatori e delle Ricercatrici 2022*, presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Roma Tre, dove è stato possibile testare in modo immersivo questa e altre esperienze virtuali grazie all'ausilio di un visore VR.

Dalla collaborazione fra rilievo digitale e tecniche di comunicazione virtuale, il progetto approfondisce le precedenti ricerche sui paradigmi conoscitivi basati sull'interazione e il coinvolgimento emotivo e sensoriale. L'implementazione del HMD ha portato l'esperienza verso un livello di immersività più elevato, coadiuvato anche dall'impiego della *Captured Reality*. Nonostante la presenza di questioni ancora da approfondire, derivanti soprattutto da limitazioni nelle risorse tecnologiche, è possibile immaginare questo caso come un tassello di un più ampio museo virtuale in espansione, in cui l'ex Mattatoio diviene un campo di sperimentazione per molteplici ulteriori ricerche sulla comunicazione del patrimonio culturale, fra cui l'ottimizzazione dei *digital twins* come scenari per progetti virtuali complessi.

Note

[1] Il software su cui è stata sviluppata l'esperienza virtuale, Unreal Engine 5, dispone di un sistema avanzato di visualizzazione delle geometrie, chiamato Nanite [Nanite Virtualized Geometry, 2023], che ottimizza considerevolmente l'uso di modelli con risoluzioni altissime in quanto elabora i dettagli in funzione della loro distanza dall'osservatore. Tuttavia, durante la ricerca, questa tecnologia non era ancora applicabile ai progetti in VR, in quanto è stata implementata in questi ultimi solo a partire da versioni successive. Ciò avrebbe facilitato l'impiego del *digital twin* stesso come scenario virtuale.

[2] AUT – Archivio Urbano Testaccio è un centro di documentazione, nato nell'ambito della ricerca del Dipartimento di Architettura di Roma Tre, che ha come obiettivo lo studio del quartiere di Testaccio e dell'ex Mattatoio.

Riferimenti bibliografici

Basso A., Calisi D. (2019). Acquisition and interactivity of 3d representation connected with the virtual heritage. In A. Conte, A. Guida (a cura di). *Patrimonio in divenire. Conoscere, valorizzare, comunicare. Atti del VII Convegno Internazionale sulla documentazione, conservazione, e recupero del patrimonio architettonico e sulla tutela del paesaggio*. Matera, 23-26 ottobre 2019, pp. 2414-2425. Roma: Gangemi.

Bevilacqua M.G., Fedeli A., Caprioli F., Gioli A., Monteleone C., Piemonte A. (2021). Immersive Technologies for the Museum of the Charterhouse of Calci. In A. Giordano, M. Russo, R. Spallone R. (a cura di). *Representation Challenges. Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain*, pp. 167-171. Milano: FrancoAngeli.

- Butcher J. (2017). *Storytelling for Virtual Reality: Methods and Principles for Crafting Immersive Narratives*. New York: Routledge.
- Camagni F. (2022). Nuove tecnologie per una interpretazione critica delle Prospettive Architettoniche. In A. Carannante, S. Lucchetti, S. Menconero, A. Ponzetta (a cura di). *Metodi, applicazioni, tecnologie. Colloqui del dottorato di ricerca in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura*, pp. 265-278. Roma: University Press-Sapienza
- Cianci M.G., Calisi D., Botta S., Colaceci S., Molinari M. (2022). Virtual Reality in Future Museums. In A. Giordano, M. Russo, R. Spallone (a cura di). *Representation Challenges. New Frontiers of AR and AI Research for Cultural Heritage and Innovative Design*, pp. 261-268. Milano: FrancoAngeli.
- 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 A. Conte, A. Guida (a cura di). *Patrimonio in divenire. Conoscere, valorizzare, comunicare. Atti del VII Convegno Internazionale sulla documentazione, conservazione, e recupero del patrimonio architettonico e sulla tutela del paesaggio*. Matera, 23-26 ottobre 2019. pp. 1357-1366. Roma: Gangemi.
- Giordano A., Russo A., Spallone R. (a cura di.) (2022). *Representation Challenges: New Frontiers of AR and AI Research for Cultural Heritage and Innovative Design*. Milano: FrancoAngeli.
- Ippoliti E., Albinini P. (2016). Virtual Museums. Communication and/ls Representation. In *DISEGNARECON*, vol. 9, n. 17, pp. 1-15.
- La storia del Mattatoio e del Campo Boario. In AUT archivio urbano testaccio. <http://aut.uniroma3.it/?page_id=183> (consultato il 30 gennaio 2023).
- Loaiza Carvajal D.A., Morita M.M., Bilmes G.M. (2020). Virtual museums. Captured reality and 3D modeling. In *Journal of Cultural Heritage*, vol. 45, pp. 234-239.
- Nanite Virtualized Geometry. <<https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine/>> (consultato il 30 gennaio 2023).
- Palestini C., Basso A. (2016). Oxymorons of the virtual museum. Experimentation through the representation. In *DISEGNARECON*, vol. 9, n. 17, pp. 1-15.
- Thwaites H., Santano D., Esmaili H., See Z.S. (2019). A Malaysian cultural heritage digital compendium. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, n. 15.

Autori

Maria Grazia Cianci, Università degli Studi Roma Tre, mariagrazia.cianci@uniroma3.it
 Daniele Calisi, Università degli Studi Roma Tre, daniele.calisi@uniroma3.it
 Stefano Botta, Università degli Studi Roma Tre, stefano.botta@uniroma3.it
 Sara Colaceci, Università degli Studi Roma Tre, sara.colaceci@uniroma3.it
 Matteo Molinari, Università degli Studi Roma Tre, matteo.molinari@uniroma3.it
 Michela Schiaroli, Università degli Studi Roma Tre, michela.schiaroli@uniroma3.it

Per citare questo capitolo: Cianci Maria Grazia, Calisi Daniele, Botta Stefano, Colaceci Sara, Molinari Matteo, Schiaroli Michela (2023). Digital twin ed esperienza immersiva in VR: il caso studio dell'ex mattatoio di Testaccio, Roma/Digital Twin and Immersive Experience in VR: the Case Study of the ex Mattatoio of Testaccio, Rome. In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (a cura di). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2595-2612.



Digital Twin and Immersive Experience in VR: the Case Study of the ex Mattatoio of Testaccio, Rome

Maria Grazia Cianci
Daniele Calisi
Stefano Botta
Sara Colaceci
Matteo Molinari
Michela Schiaroli

Abstract

The research presented deepens the themes of Captured Reality and Virtual Reality in the field of the cultural dissemination, evaluating restrictions and opportunities given by the union of digital twins and immersive experiences to develop educational models. The theme of the virtual museum lies within these topics, on which the research generates reflections on the transformation of the museum from a container place to an unlimited digital space, on the engagement of the public who participates in the interaction with the virtual environment, and on the role of the Representation in the use of ICTs for the dissemination. The theme of the VR is here applied to design a virtual museum in the case study of the ex Mattatoio of Testaccio in Rome. The methodology involves: data acquisition with laser scanner; elaboration of point clouds, textured meshes, NURBS models; design and modelling of the virtual museum. The concept of the museum is based on a red ribbon which winds through various black spatial episodes which serve as partitions for different exhibition themes. The results involve the realization of a virtual museum where users, equipped with controllers and a VR headset, immerse themselves in the scene and visit the virtual exhibition. Through the collaboration between digital survey and virtual communication. The project experiments with interactive approaches and sensory involvement.

Keywords

Captured reality; Virtual reality; Digital twins; Virtual Museum; Dissemination



Part of the museum
which leads to the
contemporary
architecture exhibition
through the photographic
reportage ribbon.
Graphic elaboration by
the authors.

Introduction

The research aims at deepening the analysis on the combination of Captured Reality and Virtual Reality in the field of cultural dissemination, evaluating opportunities and restrictions given by the union of digital twins, accurate replicas of reality developed from digital surveys, and immersive and interactive experiences, in order to produce educational models. In particular, the theme of VR is applied to the design of a virtual museum, modeled with data acquired with laser scanner. Therefore, the research investigates the use of dynamics of entertainment elements and multisensory stimulation as keys to the active transmission of art and knowledge.

The themes belonging to AR/VR have now become very current: numerous studies focus on immersive environments and interactive representations in the field of cultural heritage dissemination [Giordano et al. 2022] (fig. 1). Among the experiments of the CRCDM of Sunway University in Malaysia, the immersive VR experience *Hidden Waterfall City* develops a replica of an abandoned rural village from the early 1900s, introducing interactive elements to direct the attention of the user during the free exploration of a realistic and immersive landscape [Thwaites et al., 2019].

The theme of the virtual museum lies within these topics, on which the research generates reflections on the transformation of the museum from a container place to an unlimited digital space, on the engagement of the public who participates in the interaction with the virtual environment, on the role of the Representation in the use of ICTs for the dissemination [Bevilacqua et al. 2021; Camagni 2022; Ippoliti, Albisinni 2016; Palestini, Basso 2016]. An example is the project conducted at the Universidad Nacional de La Plata, aimed at digitizing some works provided by Argentine museums through photogrammetry, in order to offer a double exhibition experience (fig. 2), in VR and on screen, to evaluate the two different approaches of virtual musealization [Loaiza Carvajal et al. 2020].

Under this point of view, methodologies, tools, models derived from survey processes and dissemination methods are integrated with each other to illustrate the communicative possibilities with which Representation can be conceived.

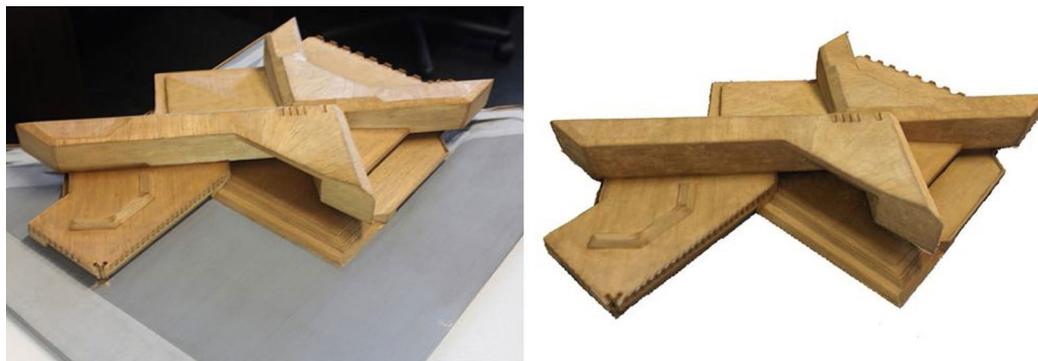
These topics are tested on the case study of the ex Mattatoio of Testaccio in Rome, a large complex rationally divided into pavilions. The structure was built between 1888 and 1891 on the project of Gioacchino Ersoch, in replacement of the former slaughterhouse in Piazza del Popolo. The buildings are related by the uniform use of load bearing masonry, travertine, iron structures and wooden roofs. The Mattatoio was decommissioned in 1975, hosting various functions over time, including the Department of Architecture, and becoming the subject of the *Città delle Arti* project [La storia del Mattatoio e del Campo Boario, 2023].

The work presented was developed during a workshop, following a previous experiment [Cianci et al. 2022], developed in 2021 at the Department of Architecture of Roma Tre



Fig. 1. Image taken from the VR experience developed for the Tempietto of Valadier (Genga, Italy), whose scenario was realized by joining photogrammetric replicas and hand-modelling. Graphic elaboration by the authors.

Fig. 2. Comparison between the wooden model *Amsterdam* (left) and its digital twin (right), exhibited at the virtual museum *Krause. Vestigios disponibles*. Loaliza Carvajal et al. 2020, p. 237, fig. 4.



University, which envisioned the reconstruction of one of the pavilions of the ex Mattatoio of Testaccio to create a virtual museum to host temporary exhibitions for students and external visitors (fig. 3).

Methodology

The research focuses on the area directly in front of Pavilion 2B, the site where the first virtual museum was created. Together with the facing abandoned abattoir, the pavilion delimits the area in a wide passage which starts from the main entrance on Piazza Orazio Giustiniani and continues towards other pavilions to the North and West.

The methodology involved a first phase of data acquisition through a survey campaign, carried out with a Z+F IMAGER laser scanner; with which nine scans were made, six along the axis of the site of interest and three in adjacent parts, to obtain an image as complete as possible by also recreating the areas not directly connected to the virtual experience. The accuracy granted by the tool and the possibility to obtain high resolution panoramic photos allowed to develop a detailed point cloud of the space. However, the ex Mattatoio site brought some technical difficulties during the survey phase: first of all, the presence of articulated metal structures and wide windows generated numerous blind spots and noise deriving from reflections on the roof and the upper parts; moreover, the constant presence of students and passing visitors complicated and partially affected the scans. This led to multiple imperfections and elements to be removed during the subsequent phases.

In the second phase of data processing, the individual point clouds were aligned and merged into a single point cloud composed of approximately 160 million points using Autodesk



Fig. 3. View on a section of the virtual museum realized in the Pavilion 2B. Graphic elaboration by the authors.

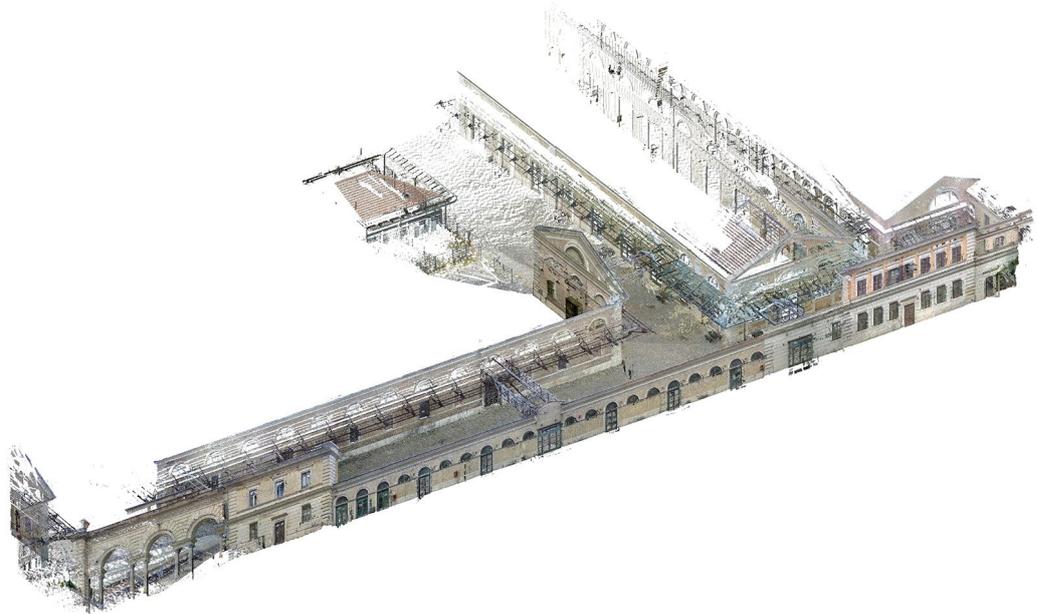


Fig. 4. The point cloud of the ex Mattatoio area, realized from the digital survey campaign with laser scanner. Graphic elaboration by the authors.

ReCap; afterwards, the scene was carefully cleaned of elements such as people and reflections (figs. 4, 5). The instrumental survey was therefore aimed at the development of the virtual scenario of the exhibition and for this reason a faithful replica of the external area between the pavilions was built. The choice to develop a digital twin of the ex Mattatoio allowed to have a direct reference for the subsequent phase of modelling and texturing of the environment, ensuring greater control and reliability of the result.

During the third phase, the point cloud was exported on Agisoft Metashape to obtain a textured and optimized mesh to be used as a reference in the modelling process. The decision not to directly exploit the digital twin as a virtual scenario depended mainly on its considerable size, which did not guarantee stable performances in real-time rendering based on the available technology [1]; furthermore, the presence of blind areas led to visible gaps from within the model, difficult to reconstruct manually and detrimental to the realism and immersivity of the scene [Basso e Calisi 2019, pp. 2414-2425]. On the other hand, a totally manual modelling, supported by a detailed work on materials and lights, can still guarantee a homogeneous and believable look of the virtual environment.



Fig. 5. View of the point cloud of the ex Mattatoio. On the right, it is possible to notice artifacts caused by the reflections of the windows and, on the left, some blind areas caused by the metal structure. Graphic elaboration by the authors.

The digital scenario was then built as a NURBS model on Rhinoceros starting on from the direct comparison with the digital twin. For some significant elements, such as moldings and metal structures, the research considered also detail photos and scans of the original projects provided by the AUT digital catalog [2].

The model was transformed into a mesh and optimized again through *quad-remeshing*, an operation consisting in rationalizing the geometry of the surfaces, to improve performance and guarantee a more fluid and comfortable experience for users in VR.

The Virtual Museum

The masterplan of the external virtual exhibition of the ex Mattatoio (fig. 6) was developed holding together some key points: the collection of available works, the relationship with the industrial context and the preexisting exhibition inside the Pavilion 2B.

Whether in the previous exhibition the compositional will was to dissimulate the internal space of the building in favor of a freer and more abstract scenario, this second study was directed to a closer dialog with the investigated context. The peculiar elements of the Mattatoio became an integral part of the virtual storytelling, mixing with the invented structures in a single dynamic organism and respecting place values at the same time, calling the industrial archeology in support of the virtual musealization. To create an evident connection with the exhibition in the Pavilion 2B, the same formal language was kept, envisioned in a finer way to adapt to the new context. A single red ribbon unravels along the area, sharply enveloping itself through the space and intercepting various special episodes, highlighted by the black color and acting as partitions for the different exhibition themes.

Sketches, drawing and 3D models made by students over the years were selected, divided into four themes and ordered along the exhibition itinerary according to a diachronic and semantic progression: from photographic reports to case studies on contemporary architecture, proceeding through analysis works on classical architecture and concluding with a section dedicated to the Imperial Fora. The design of the subjects according to the project segments was given to distinct groups of work, each of which defined a detailed abacus of exhibited works, elaborating the setting according to the specific needs of their own theme (figs. 7, 8).

Particular attention was given to the research on multimedia and interactive elements as communication devices to develop an engaging and immersive virtual experience: it is possible to find audiovisual projections, animated holograms and sound chambers. Despite the apparent linear narrative, the very shape of the ribbon, with its dynamics, allows visitors to retrace their steps, exploring the same episode from different angles, regardless of the starting point.

In the last phase of the research, the experience of the virtual museum was developed using the software Unreal Engine 5.0 (fig. 9), exploiting a template for Virtual Reality to reduce and

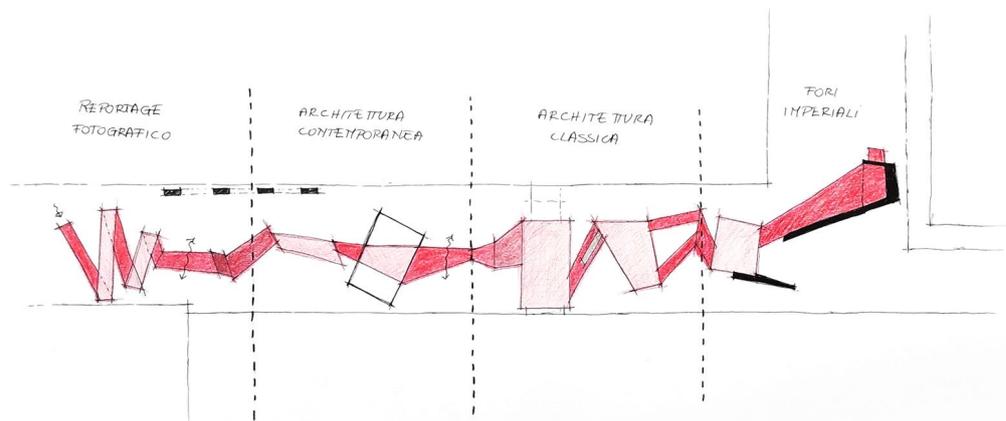


Fig. 6. Masterplan developed for the virtual exhibition. Graphic elaboration by the authors.

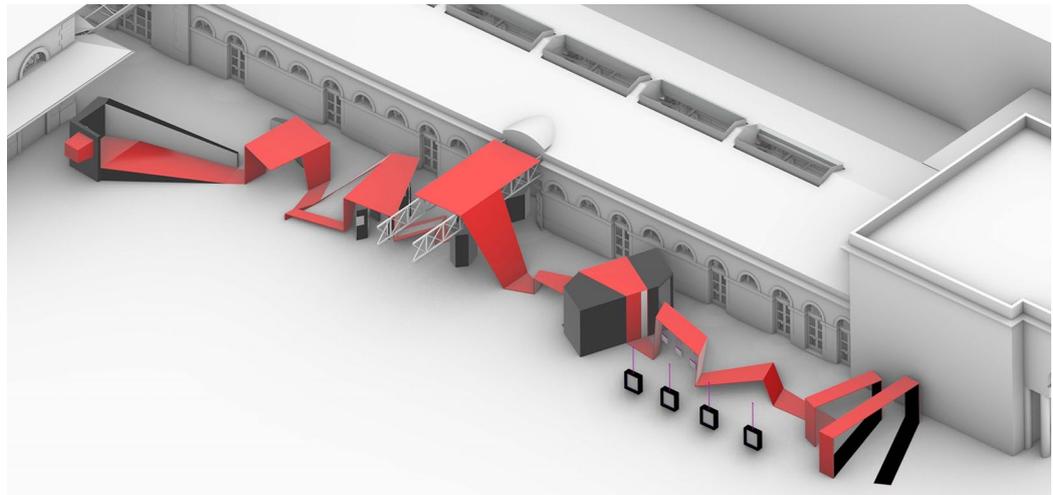


Fig. 7. Illustrations created during the workshop showing design hypotheses of various interactive exhibition elements. Graphic elaboration by the authors.

simplify the programming processes, as most of the controls and some standard movements are already coded and ready to use. The aim was to offer the visitor an alternative museum experience, in which the immersion in a realistic and interactive digital environment, using an HMD, triggers an engaging exploration of the space and an active understanding of the information transmitted. The basic model was imported into the software to create a single template on which each group worked independently, and then brought together each section of the exhibit.

Starting from the meshes, a complex collision system was defined to simulate physical boundaries inside the scenario. Material choices were carefully made to faithfully replicate the appearance of the area, leaving more freedom to the characterization of the exhibition elements in each museum episode. Scanned drawings were also applied as materials to the support surfaces; in some cases, it was decided to unify drawings or photos to realize screens with scrolling animations. Some of the 3D models available for contemporary architectures and the Imperial Fora were treated with emissive materials and transformed

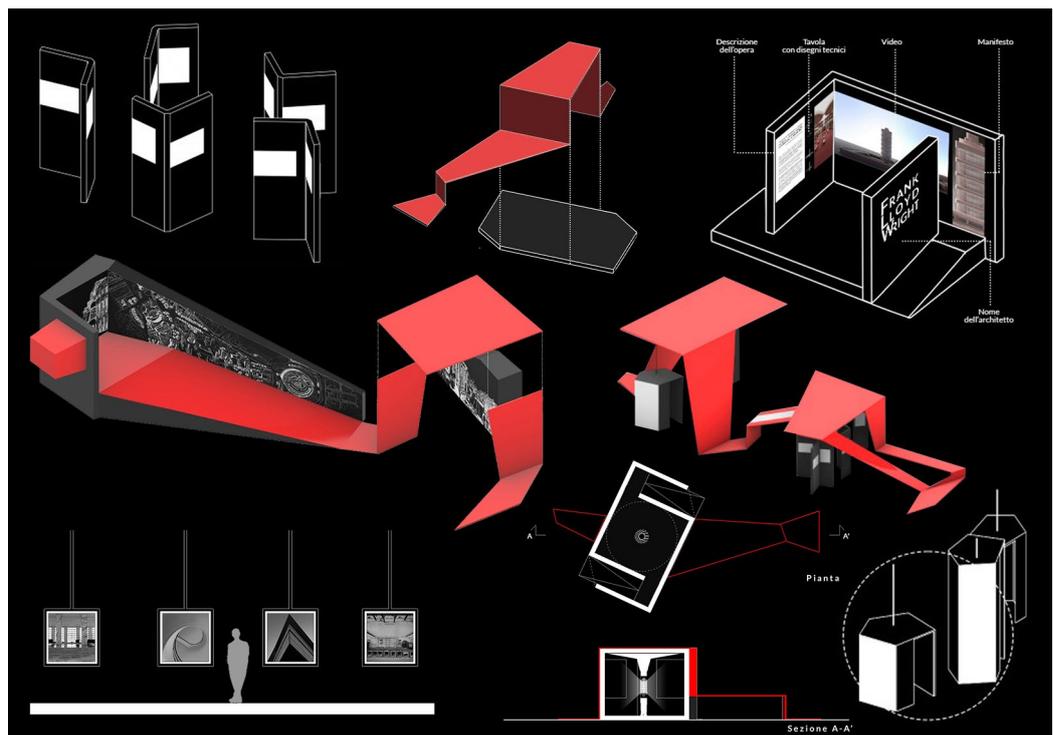


Fig. 8. Model of the museum project, which highlights the sign of the red ribbon in the space and the position of the exhibition episodes in black. Graphic elaboration by the authors.

Fig. 9. Image captured from the project developed on Unreal Engine 5, where it is possible to see some elements of the scene, such as lights, videos and sounds, with their own interaction area. Graphic elaboration by the authors.



into moving holograms (fig. 10). In addition, video and sound projections were placed to be triggered by the presence of users. The use of lights, special effects and spatialized sounds made it possible to animate the space, giving life to an exhibition full of sensory suggestions.

Conclusions

Equipped with controllers and a VR headset, users are immersed in the scene and welcomed by a red ribbon which wraps in a spiral portal, along which architectural photos slide, inviting visitors to enter the exhibition (fig. 11). Walking among scale models and pictures hung on ancient metal structures, they reach a dark room; the atmosphere lights up, illuminated by videos and holograms of contemporary architecture, and animated by an overwhelming soundtrack. Outside, the itinerary continues in the contemplative silence of classical architecture, intercepting the entrance to the exhibition in Pavilion 2B; here, sound chambers completely obscure the visitors' vision, surrounding them with evocative natural sounds. Finally, a projection welcomes the virtual guests towards the Imperial Fora section, where a ramp leads to a holographic destination depicting famous Roman architectures. The project was presented during the European Researchers' Night 2022, at Department

Fig. 10. *The Knot*, a museum episode containing a suspended hologram of a project by Wright and video projections of contemporary architecture. Graphic elaboration by the authors.

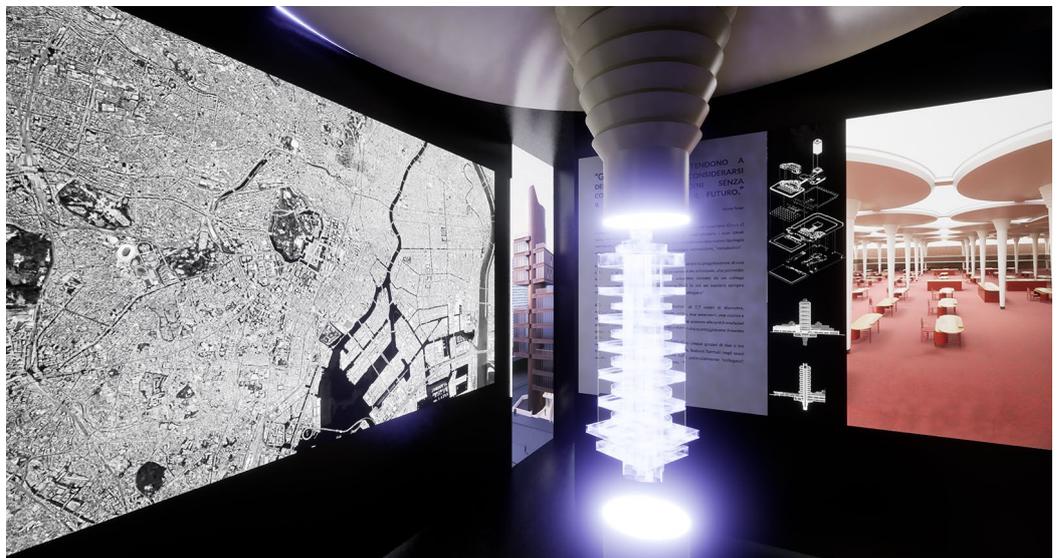


Fig. 11. The entrance to the exhibition through the photographic reportage ribbon, followed by the exhibition of works hanging from industrial structures. Graphic elaboration by the authors.



of Architecture of Roma Tre University, where it was possible to test this and other virtual experiences in an immersive way using an HMD. From the collaboration between digital survey and virtual communication techniques, the project deepens previous research cases on cognitive paradigms based on interaction and emotional and sensory engagement. Implementing the HMD brings the experience towards a higher level of immersion, also helped by the use of Captured Reality. Despite the presence of questions yet to be explored, mainly deriving from limitations in technological resources, it is possible to imagine this case as a piece of a wider expanding virtual museum, where the ex Mattatoio becomes an experimentation field for further research on cultural heritage communication, including optimizing digital twins as scenarios for complex virtual projects.

Notes

[1] The software on which the virtual experience was developed, Unreal Engine 5, has an advanced geometry visualization system, called Nanite [Nanite Virtualized Geometry, 2023], which considerably optimizes the use of models with very high resolution as it processes details as a function of their distance from the observer. However, during the research, this technology was not yet applicable to VR projects, as it was implemented only on later versions. This would have facilitated the use of the digital twin as a virtual scenario.

[2] AUT – Archivio Urbano Testaccio is a documentation center; born as part of the research of the Department of Architecture, whose purpose is the study of the Testaccio neighborhood and the ex Mattatoio.

References

- Basso A., Calisi D. (2019). Acquisition and interactivity of 3d representation connected with the virtual heritage. In A. Conte, A. Guida (Eds.). *Patrimonio in divenire. Conoscere, valorizzare, comunicare. Proceedings of the 7th International Conference on Documentation, conservation, and recovery of the architectural heritage and landscape protection*. Matera, 23-26 October 2019, pp. 2414-2425. Rome: Gangemi.
- Bevilacqua M.G., Fedeli A., Caprioli F., Gioli A., Monteleone C., Piemonte A. (2021). Immersive Technologies for the Museum of the Charterhouse of Calci. In A. Giordano, M. Russo, R. Spallone R. (Eds.). *Representation Challenges. Augmented Reality and Artificial Intelligence in Cultural Heritage and Innovative Design Domain*, pp. 167-171. Milan: FrancoAngeli.
- Butcher J. (2017). *Storytelling for Virtual Reality: Methods and Principles for Crafting Immersive Narratives*. New York: Routledge.
- Camagni F. (2022). Nuove tecnologie per una interpretazione critica delle Prospettive Architettoniche. In A. Carannante, S. Lucchetti, S. Menconero, A. Ponzetta (Eds.). *Metodi, applicazioni, tecnologie. Colloqui del dottorato di ricerca in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura*, pp. 265-278. Rome: University Press- Sapienza
- Cianci M.G., Calisi D., Botta S., Colaceci S., Molinari M. (2022). Virtual Reality in Future Museums. In A. Giordano, M. Russo, R. Spallone (Eds.). *Representation Challenges. New Frontiers of AR and AI Research for Cultural Heritage and Innovative Design*, pp. 261-268. Milan: FrancoAngeli.

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 A. Conte, A. Guida (Eds.). *Patrimonio in divenire. Conoscere, valorizzare, comunicare. Proceedings of the 7th International Conference on Documentation, conservation, and recovery of the architectural heritage and landscape protection*. Matera, 23-26 October 2019. pp. 1357-1366. Rome: Gangemi.

Giordano A., Russo A., Spallone R. (2022). *Representation Challenges: New Frontiers of AR and AI Research for Cultural Heritage and Innovative Design*. Milan: Franco Angeli.

Ippoliti E., Albisinni P. (2016). Virtual Museums. Communication and/ls Representation. In *DISEGNARECON*, Vol. 9, No. 17, pp. 1-15.

La storia del Mattatoio e del Campo Boario. In AUT archivio urbano testaccio. <http://aut.uniroma3.it/?page_id=183> (accessed 30 January 2023).

Loaiza Carvajal D.A., Morita M.M., Bilmes G.M. (2020). Virtual museums. Captured reality and 3D modeling. In *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 45, pp. 234-239.

Nanite Virtualized Geometry. <<https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/nanite-virtualized-geometry-in-unreal-engine/>> (accessed 30 January 2023).

Palestini C., Basso A. (2016). Oxymorons of the virtual museum. Experimentation through the representation. In *DISEGNARECON*, Vol. 9, No. 17, pp. 1-15.

Thwaites H., Santano D., Esmaili H., See Z.S. (2019). A Malaysian cultural heritage digital compendium. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, No. 15.

Authors

Maria Grazia Cianci, Università degli Studi Roma Tre mariagrazia.cianci@uniroma3.it

Daniele Calisi, Università degli Studi Roma Tre daniele.calisi@uniroma3.it

Stefano Botta, Università degli Studi Roma Tre, stefano.botta@uniroma3.it

Sara Colaceci, Università degli Studi Roma Tre, sara.colaceci@uniroma3.it

Matteo Molinari, Università degli Studi Roma Tre, matteo.molinari@uniroma3.it

Michela Schiaroli, Università degli Studi Roma Tre, michela.schiaroli@uniroma3.it

To cite this chapter: Cianci Maria Grazia, Calisi Daniele, Botta Stefano, Colaceci Sara, Molinari Matteo, Schiaroli Michela (2023). Digital twin ed esperienza immersiva in VR: il caso studio dell'ex mattatoio di Testaccio, Roma/Digital Twin and Immersive Experience in VR: the Case Study of the ex Mattatoio of Testaccio, Rome. In Cannella M., Garozzo A., Morena S. (Eds.). *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2595-2612.