

COLLANA

3D MODELING & BIM

DESAROLLOS FUTUROS

a cura di Tommaso Empler, Adriana Caldarone,
Javier Nuñez, Stefania Tuzi, Bernardo Pérgamo

PUBLICA

ISBN 9788899586638



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RISPOSTA E RIFORMA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Moving
Italianess

PIANO NAZIONALE RIPRESA E RESILIENZA (PNRR), INIZIATIVE EDUCATIVE TRANSNAZIONALI (TNE), PREVISTE DALLA SOTTOMISURA T4 “INIZIATIVE TRANSNAZIONALI IN MATERIA DI ISTRUZIONE”, INVESTIMENTO 3.4 “DIDATTICA UNIVERSITARIA E COMPETENZE AVANZATE” DEL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA, MISSIONE 4 “ISTRUZIONE E RICERCA” – COMPONENTE 1 “POTENZIAMENTO DELL’OFFERTA DEI SERVIZI ALL’ISTRUZIONE: DAGLI ASILI NIDO ALL’UNIVERSITÀ”

Titolo del progetto

TNE AdvancedSkills

Comunicazione e Valorizzazione del Patrimonio
Culturale

Finanziamento

Finanziato dall'Unione europea- Next Generation EU,
Missione 4 Componente 1

TNE23-00080 CUP F31I24000320006

Soggetto attuatore

Dipartimento di Storia Disegno e Restauro
dell'Architettura
SAPIENZA UNIVERSITA' DI ROMA
Piazza Borghese, 9
CAP 00186

Tommaso Empler, Adriana Caldarone, Javier Nuñez, Stefania Tuzi, Bernardo Pèrgamo (a cura di)

3D Modeling & BIM 2025 - Desarollos Futuros

© PUBLICA, Alghero, 2025

ISBN 9788899586638

Pubblicazione Dicembre 2025

Questa pubblicazione è distribuita in modalità Open Access.

Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

Sapienza Università di Roma

DIPARTIMENTO DI STORIA
DISEGNO E RESTAURO
DELL'ARCHITETTURA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Progetto grafico: Francesco Cocchi

PUBLICA

Dipartimenti di Architettura, Design e Urbanistica

Università degli Studi di Sassari



A cura di:
Tommaso Emler, Adriana Caldarone,
Javier Nuñez, Stefania Tuzi, Bernardo
Pérgamo

3D MODELING & BIM

DESAROLLOS FUTUROS

I volume raccoglie i contributi, dei relatori e degli studiosi, pervenuti in occasione del *Workshop 3DModeling&BIM. Desarrollos futuros*, che si è svolto a Cordoba (Argentina) in data 9 maggio 2025.
La valutazione dei contributi pubblicati è avvenuta con la modalità del double blind review.

This book collects contributions, of speakers and scholars, received during the *Workshop 3Dmodeling & BIM. Desarrollos Futuros*, which took place in Cordoba (Argentina) on May 9th 2025.
Contributions are printed under double blind review mode.

Organizing Commitee

Eng. Salvatore Barba (*Scientific Attaché of the Italian Embassy in Buenos Aires*)
Arc. Adriana Caldarone (*DSDRA – Sapienza*)
Arc. Tommaso Empler (*DSDRA – Sapienza*)
Arc. Javier Nuñez (*BIM – FADU*)
Arc. Stefania Tuzi (*DSDRA – Sapienza*)
Arc. Bernardo Pégamo (*FAUD – UNC*)

Scientific Committee

- Arc. Ing. Jimena Alvarez (*UNR*)
- Eng. Salvatore Barba (*Scientific Attaché of the Italian Embassy in Buenos Aires*)
- Arc. Santiago Becerra (*FAUD-UNC*)
- Arc. Adriana Caldarone (*DSDRA – Sapienza*)
- Arc. Rita Comando (*SCA*)
- Arc. Victoria Ferraris (*FAUD – UNC*)
- Arc. Carla Ferreyra (*UNISA*)
- Arc. Tommaso Empler (*DSDRA – Sapienza*)
- Eng. Luciano Gorosito (*UTN*)
- Arc. Alejandro Moreira (*UNL*)
- Arc. Javier Nuñez (*BIM – FADU – UBA*)
- Eng. Joel Oggero (*UTN*)
- Arc. Bernardo Pérgamo (*UNC*)
- Arc. Stefania Tuzi (*DSDRA – Sapienza*)
- Arc. Lucrecia Real (*Autodesk Expert Elite*)
- Arc. José María Saleme (*UNT*)
- Arc. Ana Licia Sanchez (*UNSJ*)
- Arc. Silvia Szuchman (*FADU*)

Editorial Manager

- Francesco Cocchi

INDICE

Summary

PRESENTAZIONE

14

Foreword

Tommaso Empler

FROM HBIM 0 TO HBIM 3: INTRODUCING HERITAGE BIM AT THE ROMAN CAPITOL OF OUDHNA, TUNISIA

18

Wiem Alimi

DAL GIARDINO ZOOLOGICO ALL'ECOPARQUE. METODOLOGIE DI ANALISI E STRATEGIE DI CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO BUENOS AIRES

24

From the Zoological Garden to the Ecopark: Methods of Analysis
and Conservation Strategies for the Heritage of Buenos Aires

Adriana Caldarone, Tommaso Empler, Enrique Javier Nunez, Stefania Tuzi

DAL "CASTELLO ELETTRICO" ALL'USINA DEL ARTE: ARCHITETTURE INDUSTRIALI DELLA CIAE A BUENOS AIRES

36

From the "Electric Castle" to the Usina del Arte: Industrial
Architectures of the CIAE in Buenos Aires

Adriana Caldarone, Tommaso Empler, Stefania Tuzi

VERSO UN ECOSISTEMA DIGITALE PER LA MODELLAZIONE 3D NELL'AMBITO MUSEALE

48

Towards a digital ecosystem for 3D modeling in the museum field

Michele Calvano, Alessandra Meschini, Jessica Romor, Marta Salvatore, Graziano Mario Valenti

MUSE. UN ECOSISTEMA MUSEALE PER LA “MISURA” DELL’ESPERIENZA UTENTE	58
---	----

MUSE. A Museum Ecosystem for “Measuring” the User Experience

Flavia Camagni, Andrea Casale, Elena Ippoliti, Luca J. Senatore, Noemi Tomasella

MÚLTIPLES VERSIONES DE UNA COSA SINGULARIDADES, INVARIANTES E INNOVACIONES EN LOS SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA EN EL POST-HUMANISMO	70
---	----

Multiple versions of one thing Singularities, invariants, and innovations in Representational systems in post-human Architecture

Carlos Campos

LO XYSTUS NORD DI VILLA DEI QUINTILI: STUDIO ANALITICO E PROPOSTA PER LA CONSERVAZIONE	78
---	----

The North Xystus of Villa dei Quintili: Analytical Study and Conservation Proposal

Alessandra Capuano

INNOVACIÓN Y CONSERVACIÓN: IMPLEMENTANDO HBIM EN LA FORMACIÓN UNIVERSITARIA	86
--	----

Innovation and conservation: Implementing HBIM in university education

Agustín A. Clavero, Francisco Somoza, Jan Heinrich

RICOSTRUIRE IL MEDIOEVO: TRE CASI STUDIO	94
---	----

Reconstructing the Middle Ages: Three Case Studies

Rinaldo D'Alessandro

A COMPUTATIONAL APPROACH TO ‘DRAWN’ ARCHITECTURE: A DRAWING ENCODING INITIATIVE (DEI)	104
--	-----

Elisabetta Caterina Giovannini

**MÁS ALLÁ DEL MODELO
TRES IDEAS PARA PENSAR EL HBIM COMO
LENGUAJE, TRADUCCIÓN E INTERPRETACIÓN.**

114

Beyond the Model. Three Ideas to Reframe HBIM as Language, Translation, and Interpretation

Aldo Guzmán

**DIGITAL TWIN MUSEALE: MONITORAGGIO IN TEMPO
REALE PER GARANTIRE UNA GESTIONE PROATTIVA**

124

Museum Digital Twin: Real-Time monitoring for enabling proactive management

Marco Limongiello, Caterina Gabriella Guida, Javier Nuñez

**METHODOLOGIES AND PRACTICES IN SURVEYING
ANTIQUITY: ANTONIO DA SANGALLO THE YOUNGER,
RAPHAEL, AND THE MAP OF ANCIENT ROME**

134

Simone Lucchetti, Alessandro Viscogliosi

**MODELLI INFORMATI INTERATTIVI PER LA GESTIONE
E VALORIZZAZIONE DEL MANN DI NAPOLI**

146

Interactive Information Models for the Management and Enhancement of the National Archaeological Museum of Naples (MANN)

Alessia Mazzei

**INTEROPERABILITÀ SEMANTICA E GOVERNANCE
DIGITALE: IL PARADIGMA INFORMATIVO DEL BIM
CONTEMPORANEO**

154

Semantic Interoperability and Digital Governance: The Informational Paradigm of Contemporary BIM

Michela Meschini, Matilde Cozzali, Chiara Mommi, Laura Suvieri

GLI HORTI LAMIANI: MODELLAZIONE 3D PER LO SVILUPPO DI MODELLI PER LA COMUNICAZIONE E L'ACCESSIBILITÀ

162

Horti Lamiani: 3D Modeling for the Development of Models for Communication and Accessibility

Pasquale Micelli

IMAGE-TO-BIM. AI PER L'INTEGRAZIONE DELL'APPARATO DECORATIVO NEI MODELLI INFORMATIVI

172

Image-to-BIM. AI for the Integration of Decorative Apparatus in Informative Models

Andrea Migliosi, Claudia Cerbai, Simona Ceccaroni, Filippo Cornacchini

EL IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES EN LA GESTIÓN MUSEAL: PLAZA ESPAÑA Y EL MUSEO METROPOLITANO DE ARTE URBANO, CÓRDOBA, ARGENTINA.

182

The Impact of Digital Technologies on Museum Management: Plaza España and the Metropolitan Museum of Urban Art, Córdoba, Argentina.

María Belén Moll, Victoria Ferraris, Carla Ferreyra, Nicolás Ruscelli, Anna Sanseverino

SCAN TO BIM - DEL ESCANEO AL MODELO DIGITAL

192

Scan to BIM - From Laser Scanning to Digital Modeling

Natalia Pirazzini, Andres Jerez, German Mata

UNA NUOVA LETTURA DELL'ORDINE DORICO DI PALAZZO BARBERINI: IL BIM PER L'ESPLORAZIONE DELLE VARIAZIONI PROGETTUALI

200

A new perspective on the Doric order of Palazzo Barberini: BIM for investigating design variations

Esterletizia Pompeo

**DEL RITO AL DATO: UNA PROPUESTA
METODOLÓGICA PARA LA MUTACIÓN DIGITAL DEL
PATRIMONIO SACRO**

208

From the Rite to the Data: A methodological proposal for Digital mutation of the sacred heritage

Juan Cruz Reyes

**MODELLARE IL TEMPO: AMBIENTI BIM PER L'ANALISI
DIACRONICA DELL'ARCHITETTURA STORICA**

218

Modeling Time: BIM-Based Environments for the Diachronic Study of Historical Architecture

Rebecca Rossi

**HBIM PER IL RESTAURO E LA VALORIZZAZIONE:
STUDIO SUL MAUSOLEO DI ROMOLO A ROMA**

228

HBIM FOR RESTORATION AND ENHANCEMENT:
a study of the Mausoleum of Romulus in Rome

Lorenza Ruggiero

**MODELIZACIÓN INFOGRÁFICA PARA LA GESTIÓN DE
DATOS HISTÓRICO-ARQUITECTÓNICOS. EL COLEGIO
NACIONAL DE MONSERRAT**

238

Infographic Modeling for Managing Historical Architectural Data. The Case of the Colegio Nacional de Monserrat

Constanza Valencia, M. Clara Amoedo Fiore, Carla Ferreyra

**OBRA SALAMÓNICA EN ANÁLISIS: ESTUDIO FORMAL
Y DIGITALIZACIÓN 3D DE UNA FAROLA EN LAPRIDA**

248

Salamonic Work Under Analysis: Formal Study
And 3d Digitalization Of A Lamppost In Laprida

Laura Lopresti, Sergio Gavino, Lucas Speroni, Iván Suárez, Laura Fuertes

PRESENTAZIONE

Foreword

Author

Tommaso Empler

Email

tommaso.empler@uniroma1.it

Il tema dei *nuovi sviluppi* nel campo della rappresentazione e della modellazione digitale del patrimonio architettonico e museale costituisce oggi uno dei principali ambiti di ricerca interdisciplinare, nel quale convergono istanze storiche, metodologiche, tecnologiche e culturali. I contributi raccolti nel presente volume documentano in modo puntuale come il Building Information Modeling, nelle sue declinazioni HBIM, Digital Twin e sistemi informativi avanzati, stia attraversando una fase di profonda trasformazione, passando da strumento prevalentemente documentativo a infrastruttura dinamica per la conoscenza, la gestione, la conservazione preventiva e la valorizzazione del patrimonio.

Un primo asse tematico riguarda l'evoluzione metodologica dell'HBIM come processo strutturato e replicabile. Il passaggio illustrato dal modello "HBIM 0" a un ambiente collaborativo "HBIM 3" per il Capitolium romano di Oudhna mette in evidenza come i nuovi sviluppi non siano solo tecnologici, ma anche istituzionali e organizzativi, soprattutto in contesti caratterizzati da competenze digitali limitate e governance frammentata. Su questa linea si collocano anche i contributi dedicati al Mausoleo di Romolo, alla Villa dei Quintili, agli edifici sacri tra Italia e Argentina e al Colegio Nacional de Monserrat, nei quali il modello informativo integrato si configura come strumento centrale per l'analisi, il restauro, la manutenzione e la pianificazione di interventi futuri. In tali esperienze, l'HBIM evolve verso la costruzione di veri e propri gemelli digitali, in costante aggiornamento e orientati a una gestione proattiva del bene.

Un secondo ambito di forte innovazione è quello museale, dove i nuovi sviluppi tecnologici trovano una immediata applicazione nella gestione degli spazi, nella fruizione e nella misurazione dell'esperienza dell'utente. I contributi legati al progetto MUSE, al Digital Twin museale e agli ecosistemi digitali per la modellazione 3D testimoniano il superamento del modello tradizionale di museo come contenitore statico, a favore di ambienti digitali complessi, capaci di integrare dati geometrici, informativi, comportamentali e ambientali. Il monitoraggio in tempo reale, lo studio dei flussi di visita, l'analisi dello sguardo e delle interazioni in ambienti immersivi rappresentano sviluppi decisivi per una gestione basata sui dati e per strategie di valorizzazione sempre più mirate e personalizzate.

Un ulteriore filone riguarda il tema della rappresentazione come strumento critico di conoscenza, con nuovi sviluppi che intrecciano storia, progetto e informazione. Gli studi sulle ricostruzioni virtuali dell'architettura medievale, sull'ordine dorico di Palazzo Barberini e sulle metodologie storiche di rilievo tra Medioevo e Rinascimento mostrano come le tecniche digitali non sostituiscano la dimensione interpretativa del rilievo, ma la amplifichino, rendendola esplicita e verificabile. In questa prospettiva

The theme of new developments in the field of representation and digital modeling of architectural and museum heritage today constitutes one of the main areas of interdisciplinary research, in which historical, methodological, technological, and cultural perspectives converge. The contributions collected in this volume clearly document how Building Information Modeling, in its HBIM, Digital Twin, and advanced information systems declinations, is undergoing a phase of profound transformation, shifting from a predominantly documentary tool to a dynamic infrastructure for knowledge, management, preventive conservation, and heritage enhancement.

A first thematic axis concerns a methodological evolution of HBIM as a structured and replicable process. The transition illustrated from the "HBIM 0" model to a collaborative "HBIM 3" environment for the Roman Capitolium of Oudhna, highlights how new developments are not only technological but also institutional and organizational, especially in contexts characterized by limited digital skills and fragmented governance. Along this line are also the contributions dedicated to the Mausoleum of Romulus, the Villa of the Quintili, sacred buildings between Italy and Argentina, and the Colegio Nacional de Monserrat, where the integrated information model emerges as a central tool for analysis, restoration, maintenance, and the planning of future interventions. In these experiences, HBIM evolves toward the construction of true digital twins, constantly updated and oriented toward the proactive management of the asset.

A second field of strong innovation is the museum field, where new technological developments find immediate application in spatial management, visitor experience, and measurement of user interaction. Papers related to MUSE project, the museum Digital Twin, and digital ecosystems for 3D modeling testify to the overcoming of traditional museum model as a static container, in favor of complex digital environments capable of integrating geometric, informational, behavioral, and environmental data. Real-time monitoring, the study of visitor flows, the analysis of gaze and interactions in immersive environments represent decisive developments for data-driven management and for increasingly targeted and personalized enhancement strategies.

A further line of research addresses representation as a critical tool of knowledge, with new developments that intertwine history, design, and information. Studies on virtual reconstructions of medieval architecture, on the Doric order of Palazzo Barberini, and on historical surveying methodologies between the Middle Ages and the Renaissance show how digital techniques do not replace the interpretative dimension of survey, but rather amplify it, making it explicit and verifiable. In this perspective, research on diachronic modeling is also situated,

si inseriscono anche le ricerche sulla modellazione diacronica, che utilizzano l'H-BIM per rappresentare la stratificazione temporale, valorizzando l'incertezza come parte strutturale del processo conoscitivo.

Tra i nuovi sviluppi più avanzati emergono inoltre quelli legati all'automazione, all'intelligenza artificiale e alla codifica computazionale della rappresentazione. Le metodologie image-to-BIM per l'integrazione dell'apparato decorativo, l'uso dei linguaggi visuali di programmazione per la "drawn architecture" e le ricerche sull'interoperabilità semantica e sugli standard informativi evidenziano come il BIM stia assumendo sempre più il ruolo di linguaggio complesso, capace di tradurre, interpretare e mettere in relazione saperi eterogenei. In questo quadro, l'interoperabilità non è più solo un requisito tecnico, ma un presupposto culturale per la costruzione di ecosistemi digitali realmente condivisi.

Particolarmente significativo, infine, è l'apporto delle riflessioni teoriche sul rapporto tra uomo, macchina e rappresentazione in epoca post-umanista. Il recupero dell'aleatorietà, dell'auto-organizzazione e dei dispositivi maquínici come strumenti generativi introduce una lettura critica dei nuovi sviluppi digitali, sottolineando come l'innovazione non si esaurisca nell'ottimizzazione dei processi, ma implichi una profonda revisione dei paradigmi creativi e didattici.

Nel loro insieme, i saggi qui raccolti offrono un quadro aggiornato e articolato dei nuovi sviluppi nel campo del rilievo, della modellazione informativa, della gestione e della comunicazione del patrimonio. Essi mostrano come la trasformazione digitale non sia un semplice passaggio tecnologico, ma un processo culturale complesso che coinvolge il modo stesso di conoscere, interpretare e trasmettere l'architettura e la città storica. Gli atti del convegno si propongono dunque come spazio di confronto tra esperienze internazionali, approcci disciplinari differenti e livelli diversi di maturità tecnologica, contribuendo attivamente alla definizione di scenari futuri per la ricerca e la pratica nel settore dei beni culturali.

using H-BIM to represent temporal stratification and to valorize uncertainty as a structural component of the cognitive process.

Among the most advanced new developments, those related to automation, artificial intelligence, and the computational encoding of representation also emerge. Image-to-BIM methodologies for the integration of decorative apparatuses, the use of visual programming languages for "drawn architecture," and research on semantic interoperability and information standards highlight how BIM is increasingly assuming the role of a complex language, capable of translating, interpreting, and interrelating heterogeneous bodies of knowledge. In this framework, interoperability is no longer merely a technical requirement, but a cultural prerequisite for the construction of truly shared digital ecosystems.

Finally, particularly significant is the contribution of theoretical reflections on the relationship between human beings, machines, and representation in the post-humanist era. The recovery of randomness, self-organization, and machinic devices as generative tools introduces a critical reading of new digital developments, emphasizing how innovation does not exhaust itself in the optimization of processes, but implies a profound revision of creative and educational paradigms.

Taken as a whole, the essays collected here offer an updated and articulated overview of new developments in the fields of surveying, information modeling, management, and the communication of heritage. They show how digital transformation is not a mere technological shift, but a complex cultural process that involves the very ways in which architecture and the historic city are known, interpreted, and transmitted. The conference proceedings thus present themselves as a space for comparison among international experiences, different disciplinary approaches, and varying levels of technological maturity, actively contributing to the definition of future scenarios for research and practice in the field of cultural heritage.

FROM HBIM 0 TO HBIM 3: INTRODUCING HERITAGE BIM AT THE ROMAN CAPITOL OF OUDHNA, TUNISIA

Authors

Wiem Alimi

Sapienza Università di Roma, Dipartimento Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

Email

alimi.wiem@uniroma1.it

Keywords

HBIM
CULTURAL HERITAGE
OUDHNA
TUNISIA
DIGITAL TWIN

Abstract

This research applies HBIM to the Roman Capitol of Oudhna, Tunisia, where heritage management faces low digital expertise and fragmented governance. Using an integrated HBIM workflow, the research moves from a non-digital baseline ("HBIM 0") to a collaborative open BIM environment ("HBIM 3"), demonstrating methodological, technical, and institutional challenges in digitizing archaeological heritage.

Introduction

Building Information Modeling (BIM) has become a transformative tool in the construction industry and, increasingly, for cultural heritage. Its adaptation into Heritage Building Information Modeling (HBIM) has enabled archaeologists, architects, and engineers to document, analyze, and manage historical assets with greater accuracy and interdisciplinary collaboration [Murphy, McGovern, & Pavia, 2013].

In many regions, however, HBIM is not yet established. While HBIM methodologies are increasingly adopted in Europe, in North Africa the cultural heritage sector largely remains in a pre-digital stage. Tunisia is one such place, where cultural heritage management mostly remains analog and traditional. Despite its exceptionally rich archaeological patrimony, it suffers from three interrelated challenges: poor conservation conditions, limited expertise in digital technologies, and a fragmented governance system that lacks interdisciplinary frameworks for heritage management. [Mellouli, 2022]

Against this background, the present research addresses a significant gap: testing HBIM in a North African archaeological site and exploring its potential as both a methodological tool and a driver of institutional change.

This paper presents an ongoing doctoral research project at the Roman site of Oudhna (Uthina), focusing on its Capitol. The work represents the first structured attempt to introduce HBIM into Tunisia, pushing from a baseline of zero BIM culture ("HBIM 0") to an integrated, collaborative digital workflow ("HBIM 3").

State of the Art of HBIM

HBIM was first conceptualized in 2009, when Murphy et al. (2012) introduced it as an extension of BIM to historical heritage. Unlike design-oriented BIM, HBIM begins not from design data but from survey and documentation of existing fabric. This methodology thus assumes that available information derives from collected data to scientifically reconstruct the genesis of an artifact [Gargnani et al., 2016; Doria & Previato, 2024]. Since its introduction, HBIM has evolved as a framework integrating advanced survey methods, semantic modeling, and data management systems. When dealing with distant, poorly preserved, or fragmentarily documented heritage, the HBIM model becomes a dynamic tool where hypotheses are validated, metadata is continuously updated, and critical reconstruction choices are explicitly tracked [Bosco, D'Andrea, Nuzzolo, & Zanfagna, 2019; Mancuso, 2023]. Therefore, HBIM has been proving its capacity to merge geometric accuracy with historical

and conservation knowledge to primarily serve documentation, conscious restoration planning and valorization [Empler, 2021].

In Tunisia, however, previous attempts at digital heritage documentation have been sporadic and limited to traditional photogrammetry or CAD-based drawings. Mellouli (2022) underscores that the adoption of HBIM remains far from feasible due to governance barriers and a lack of technical expertise.

The present study, therefore, situates itself as a pioneering attempt to bridge this methodological and institutional gap.

Case Study: The Capitol of Oudhna

Oudhna (Uthina), located 30 km south of Tunis, is one of the largest Roman sites in North Africa. Despite its monumental remains, including an amphitheater, baths, and forum buildings, it has received less scholarly attention than Carthage or Dougga in Tunisia. The Capitol, dedicated to the Capitoline triad, dominates the forum and represents a key architectural landmark that features typical Roman architectural elements. From a heritage management perspective, the Capitol faces challenges common in North African archaeological sites: partial preservation, limited documentation, and scarce digital recording. These conditions make it an ideal candidate for HBIM application, enabling precise survey, semantic modeling, and the creation of an interoperable digital repository.

Methodology

The research follows the **HBIM framework** [Empler, 2022], adapted to the specific constraints of Tunisia. The methodology integrates:

- **Historical analysis** including archival research on Oudhna and its Capitol dedicated to Jupiter, Juno, and Minerva.
- **Survey acquisition** including terrestrial laser scanning (TLS) and unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry (Fig1).
- **Data integration** including registration and cleaning of point clouds and generation of orthophotos.
- **HBIM modeling** including parametric reconstruction of architectural elements in Revit, with historical and material attributes.
- **Collaboration environment** including setup of a Common Data Environment (CDE) to manage multidisciplinary inputs.

A major challenge was securing legal authorizations. The site of Oudhna is classified as a military zone, requiring permits from multiple ministries



Fig. 1: UAV photogrammetry of the Capitol of Oudhna, Author

(Interior, Defense, Transport, Equipment) and customs clearance for drone import. This legal dimension became a crucial component of the methodology, reflecting how HBIM must negotiate governance frameworks as well as technical workflows (Fig2).

Results

A key result of this research is the successful completion of fieldwork in a highly regulated context. Securing these authorizations was a complex and time-consuming process, yet it represents a major achievement in itself, demonstrating that rigorous legal and administrative constraints can be navigated to enable advanced digital documentation in challenging heritage contexts.

The integrated TLS and UAV survey produced a dense and highly accurate point cloud, revealing the Capitol's current state of conservation and enabling detailed geometric documentation (Fig3).

Expected results also include:

- **HBIM Modeling**, including parametric families representing architectural elements and semantic data attached.

- **Commun Data Environment Integration**, aiming to introduce local institutions to openBIM protocols for the first time, proposing collaboration and marking a shift in governance practices.

Discussion

This research shows that HBIM can be successfully introduced even in challenging contexts like Tunisia. The work highlights the dual role of HBIM: technical (survey, modeling, data integration) and institutional (frameworks for interdisciplinary collaboration). In fact, the Oudhna case highlights three main aspects:

1. **The leap from HBIM 0 to HBIM 3:** Tunisia lacked even basic BIM adoption, yet this research project proposes an open, collaborative workflow from the outset. This leap shows that transitioning from an environment with no BIM culture to a collaborative open workflow is ambitious but feasible and demonstrates the adaptability of HBIM in underexplored contexts.

2. **Governance as methodology:** Obtaining legal authorizations became an intrinsic part of the HBIM workflow, proving that digital heritage cannot be detached from policy frameworks. This proved that institutional and legal constraints must be treated as methodological components, not external obstacles.

3. **Prospective markets:** Tunisia represents an emerging field where HBIM may expand rapidly once institutional and technical barriers are addressed, and this also can be a propelling prototype to other emergent regions worldwide.

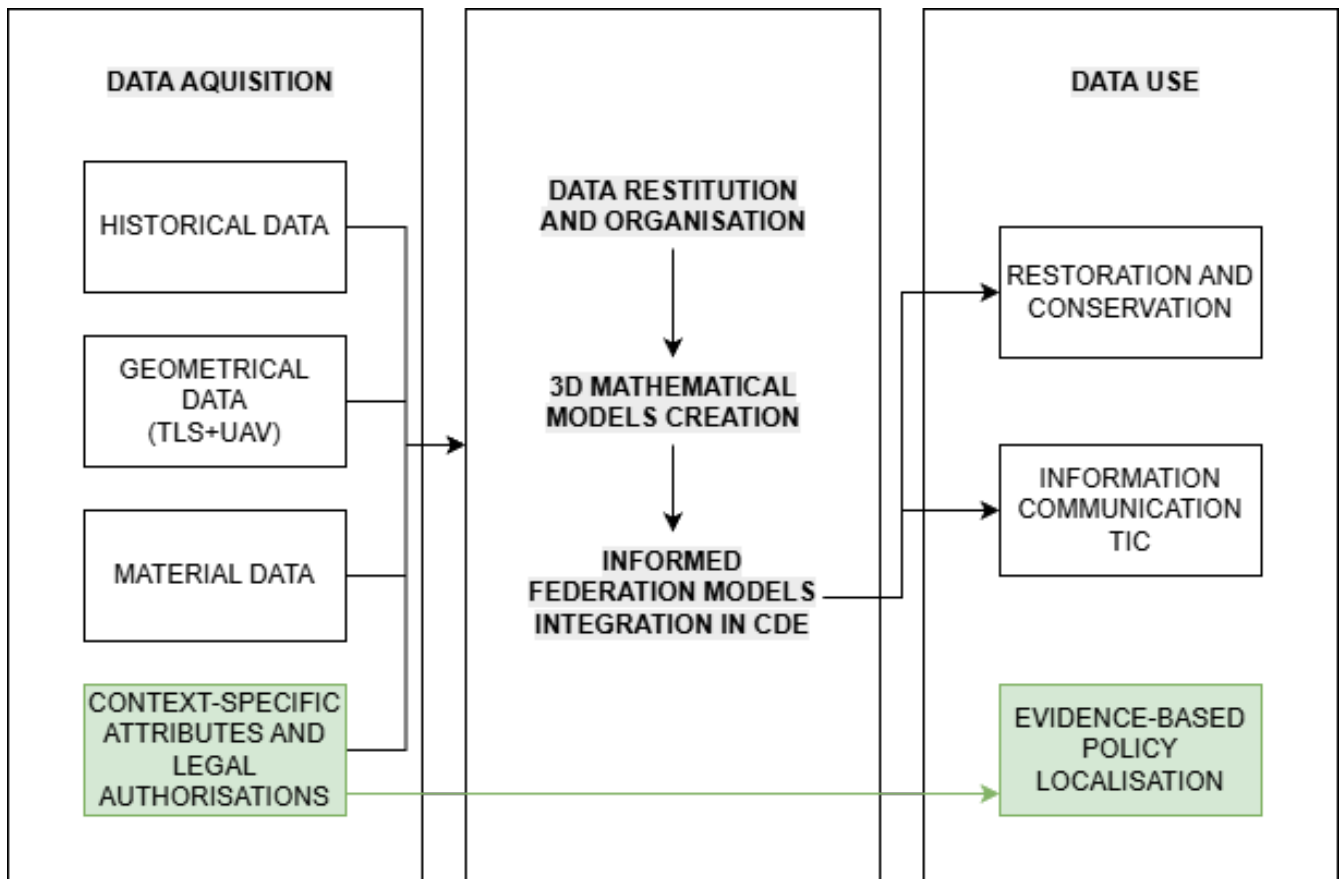


Fig. 2: Methodological outline of the HBIM workflow, Author.



Fig. 3: Integrated survey results, Author

Further work can expand to material characterization, conservation planning, and integration with AI-based heritage analysis.

Conclusion

This research shows that even in a low-digital-context environment like Tunisia, HBIM can be introduced meaningfully and can foster changes in documentation, conservation, and collaboration. This research shows that HBIM can be successfully introduced even in challenging contexts like Tunisia. The work highlights the dual role of HBIM: technical (survey, modeling, data integration) and institutional (frameworks for interdisciplinary collaboration). It demonstrates as well that HBIM can serve not only as a digital tool but also as a cultural and institutional catalyst in contexts where heritage management is underdeveloped. By applying advanced survey techniques and collaborative workflows to the Capitol of Oudhna, the research project has shown that even countries with “HBIM 0” culture can leap directly into advanced integration. Ultimately, the Oudhna project aspires to establish HBIM as a standard methodology for Tunisian heritage, paving the way for a new paradigm of documentation and valorization worldwide and proving that that high-precision digital heritage management is feasible even in highly regulated, low-digital environments.

Bibliography

Bosco, A., D'Andrea, A., Nuzzolo, M., & Zanfagna, P. (2019). A BIM approach for the analysis of an archaeological monument. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2/W9), 165–172.

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-2-W9-165-2019>

Doria, L., & Previato, C. (2024). BIM e archeologia: i casi studio degli anfiteatri romani di Verona e Pola. *Archeologia e Calcolatori*, 35(1), 427–445.

<https://doi.org/10.19282/ac.35.1.2024.26>

Empler, T., D'Angelo, E., & Fusinetti, A. (2022). Digital Twin of the Villa of Maxentius. In *Workshop 3D Modeling & BIM. Information & 3D Modeling per il patrimonio costruito* (pp. 34–61). DEI-Tipografia del Genio Civile.

Garagnani, S., Gaucchi, A., & Govi, E. (2016). Archaeo-BIM: dallo scavo al Building Information Modeling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto. *Archeologia e Calcolatori*, 27, 251–270.

<https://www.archcalc.cnr.it/journal/articles/840>

Mancuso, G. (2023). ArchaeoBIM ed Extended Matrix. Analisi e potenzialità di due processi per l'elaborazione di modelli informativi. *Archeologia e Calcolatori*, 34(2), 123–142.

<https://doi.org/10.19282/ac.34.2.2023.07>

Mellouli, O. (2022). *Le «Smart Heritage» en Tunisie: un patrimoine bâti conservé et mis en valeur par les nouvelles technologies. Mythe ou réalité* (PhD Thesis, ENAU National School of Architecture Tunisia).

Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2013). Historic Building Information Modelling: Adding intelligence to laser and image-based surveys of European classical architecture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 89–102.

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006>

DAL GIARDINO ZOOLOGICO ALL'ECOPARQUE. METODOLOGIE DI ANALISI E STRATEGIE DI CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO BUENOS AIRES¹

From the Zoological Garden to the Ecopark: Methods
of Analysis and Conservation Strategies for the
Heritage of Buenos Aires

Authors

Adriana Caldarone¹, Tommaso Empler¹, Enrique Javier Nunez², Stefania Tuzi¹

¹Sapienza Università di Roma, Dipartimento Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

²Facoltà di Architettura, Design e Urbanistica – Università di Buenos Aires

Email

adriana.caldarone@uniroma1.it

tommaso.empler@uniroma1.it

javier.nunez@fadu.uba.ar

stefania.portoghesituzi@uniroma1.it

Keywords

HBIM
BUENOS AIRES
DIGITAL TWIN
3D MODELING

Abstract²

Il Giardino Zoologico di Buenos Aires (1888), oggi Ecoparque, è un caso emblematico di trasformazione e gestione del patrimonio zoologico-architettonico. Nato come dispositivo positivista, riflette le trasformazioni culturali della capitale. Lo studio, basato su rilievo digitale, analisi materica e modellazione HBIM, indaga due padiglioni iconici, evidenziando valore simbolico, degrado e potenzialità del modello HBIM per restauro predittivo, gestione digitale sostenibile delle trasformazioni funzionali e valorizzazione.

Buenos Aires Zoo (1888), now the *Ecoparque*, stands as a landmark case in the transformation and management of zoological-architectural heritage. Conceived as a positivist cultural project, it mirrors the shifting cultural landscape of the Argentine capital. This study, using digital surveying, material analysis, and HBIM modeling, examines two iconic pavilions, revealing their symbolic value, material decay, and the HBIM model's potential for predictive restoration, sustainable digital management of functional change and valorization.

Introduzione

Il Giardino Zoologico di Buenos Aires, situato nel quartiere di Palermo, rappresenta uno dei luoghi più emblematici della storia urbana e culturale argentina. Nato nel 1888 come simbolo del progresso scientifico ed educativo, si è trasformato, nel corso di oltre un secolo, in un dispositivo culturale capace di riflettere i mutamenti politici, sociali e ideologici della capitale argentina. La sua recente riconversione in "Ecoparque" (2016) ha segnato un passaggio fondamentale, che invita a riflettere sul valore storico e architettonico del complesso e sulla necessità di nuove metodologie per la sua conoscenza, conservazione e valorizzazione.

Il caso del Giardino Zoologico si colloca all'interno di una più ampia discussione internazionale sul destino degli zoo storici [A.A. V.V., 2023]. Nati tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo, spesso come espressione della cultura illuminista e positivista, gli zoo hanno rappresentato strumenti politici, educativi e di spettacolo. Esempi celebri si trovano a Londra (1828), Parigi (1793) e Berlino (1844): tutti spazi che univano scienza, svago e rappresentazione simbolica del dominio coloniale sugli animali esotici [Couper, 2018].

Buenos Aires non fece eccezione. L'Argentina, all'epoca in piena espansione economica e desiderosa di affermarsi come nazione moderna e cosmopolita, trovò nello zoo un mezzo efficace per costruire un'immagine di progresso. Oggi, tuttavia, questo stesso patrimonio è chiamato a confrontarsi con sfide radicalmente diverse: la sensibilità verso il benessere animale, l'urgenza della sostenibilità e la necessità di preservare un insieme architettonico che, nel 1997, è stato riconosciuto come Monumento Storico Nazionale [Pezzetta, 2020].

L'obiettivo di questo articolo è analizzare in modo discorsivo e critico il percorso che ha condotto dalla creazione del Giardino Zoologico alla sua attuale configurazione come "Ecoparque",

focalizzandosi in particolare su due casi studio architettonici, il Padiglione degli Elefanti e il Padiglione Indostanico, e sulla metodologia di ricerca adottata per documentarli e valorizzarli.

Quadro storico e culturale

L'area in cui oggi sorge l'Ecoparque faceva parte delle proprietà di Juan Manuel de Rosas. Dopo la sua caduta (1852), i terreni furono espropriati e destinati a uso pubblico. La trasformazione in parco avvenne negli anni Settanta dell'Ottocento, durante la presidenza di Domingo Faustino Sarmiento, che nel 1871 decise di istituire il "Parque 3 de Febrero" (Fig. 1) [Holmberg, 1893].

Il parco rappresentava un simbolo del progetto politico sarmientino: uno spazio verde urbano che incarnava la modernità, sul modello dei grandi parchi europei e nordamericani.

All'interno di questo quadro, la creazione di un giardino zoologico apparve come naturale complemento, in linea con l'ideale positivista di progresso attraverso la conoscenza scientifica e la pedagogia popolare.

Il Giardino Zoologico fu inaugurato ufficialmente nel 1888, con Eduardo Ladislao Holmberg come primo direttore [Esparrach, Sassaroli, 2022].

Un elemento distintivo del progetto fu la scelta di edificare padiglioni tematici ispirati agli stili architettonici dei Paesi di provenienza degli animali. Nacquero così costruzioni in stile indiano, egizio, moresco, classico, che conferivano al complesso un carattere eclettico e scenografico. Questa impostazione rispondeva a due obiettivi: da un lato, educare il pubblico attraverso un'esperienza visiva e immersiva; dall'altro, affermare il ruolo di Buenos Aires come capitale moderna e cosmopolita, capace di dialogare con le grandi metropoli del mondo.

La massima espansione dello zoo si ebbe sotto la direzione di Clemente Onelli (1904-1924) in cui il giardino raggiunse la sua massima popolarità [Esparrach, Sassaroli, 2022]. Tuttavia, già in questi anni emersero tensioni tra la funzione educativa e quella spettacolare dello zoo, che avrebbero caratterizzato la sua storia successiva.

Nel corso del XX secolo, lo zoo attraversò periodi di crisi e tentativi di rilancio. Nel 1997, lo Stato argentino lo dichiarò Monumento Storico Nazionale, riconoscendo ufficialmente il valore architettonico e culturale delle sue strutture [Esparrach, Sassaroli, 2022].

Il 2016 segna la svolta. Il governo della Città di Buenos Aires annunciò la chiusura dello zoo e la sua trasformazione in "Ecoparque" [A.A. V.V., 2023]. Molti animali furono trasferiti in riserve più idonee, mentre gli edifici storici vennero destinati a nuovi usi culturali, educativi e ricreativi. Questa trasformazione riflette non solo una nuova sensibilità etica verso gli animali, ma anche la necessità

1_ Il contributo è il risultato del lavoro congiunto degli autori. In particolare Adriana Caldarone si è occupata dei paragrafi 1 e 3, Tommaso Empler dei paragrafi 6 e 7, Enrique Javier Nunez dei paragrafi 4 e 5, Stefania Tuzi del paragrafo 2.

2_ Le attività sono state svolte nell'ambito del Seminario Internazionale tenuto con l'Istituto di Arte Americana (IAA) della Facoltà di Architettura, Design e Urbanistica dell'Università di Buenos Aires nel maggio 2023.

Il Gruppo di lavoro è il seguente. Docenti: Adriana Caldarone, Tommaso Empler, Carola Herr, Javier Nuñez, Arq. Stefania Portoghesi Tuzi, Marina Vasta. Studenti: Heber Leonel Dabadia Barbisan, Giuliana Sabelli, Diana Aguilar, Carolina Lucia Esteves, Micaela Tagliapietra, Graciela Aguilar, Hernan David Giannini, Agata Peskins, Mairon Alejandro Saavedra Zoto, Ariana Arbelaz, Agustina Ciccolini, Andrea Morello, Juan Jose Gutierrez, Jorge Español, Luciano Larrocca, Michell Posternak, Letizia Nuzzo, Pamela Prato, Florencia Geralnik e Izaskun Martinez Castillo.

di valorizzare il patrimonio architettonico ereditato dal passato.

L'Ecoparque, oggi, si propone come spazio ibrido: un parco urbano che combina memoria storica, conservazione architettonica, educazione ambientale e innovazione tecnologica.

Metodologia di ricerca

L'analisi del patrimonio architettonico del Giardino Zoologico di Buenos Aires si è fondata su una metodologia multidisciplinare, capace di integrare strumenti storici, diagnostici e digitali. La scelta di un approccio composito deriva dalla natura complessa del bene oggetto di studio: non un singolo edificio, ma un insieme stratificato di architetture, spazi aperti, percorsi e manufatti decorativi, che nel tempo hanno subito trasformazioni significative [Bisgrove, 2022] e, pertanto, la rappresentazione di una sua "conoscenza

profonda" attraverso un modello, determina un complesso di informazioni eterogenee e multilivello da strutturare.

La metodologia può essere descritta come articolata in quattro livelli principali: analisi storica, documentaria e rapporto con il contesto, rilievi da acquisizione massiva, studio materico e dello stato conservativo, modellazione informativa e gestione dei dati.

La prima fase è consistita nello studio delle fonti storiche ed iconografiche, quali planimetrie originali del giardino zoologico (Fig. 2), fotografie d'epoca (Fig. 3), guide turistiche e testi divulgativi prodotti tra fine Ottocento e primo Novecento. Queste fonti hanno permesso di ricostruire la configurazione originaria del complesso, le intenzioni progettuali dei direttori e degli architetti coinvolti, nonché le successive trasformazioni legate ai mutamenti d'uso.

Lo studio delle fonti ha assunto anche un valore critico, permettendo di mettere in evidenza come

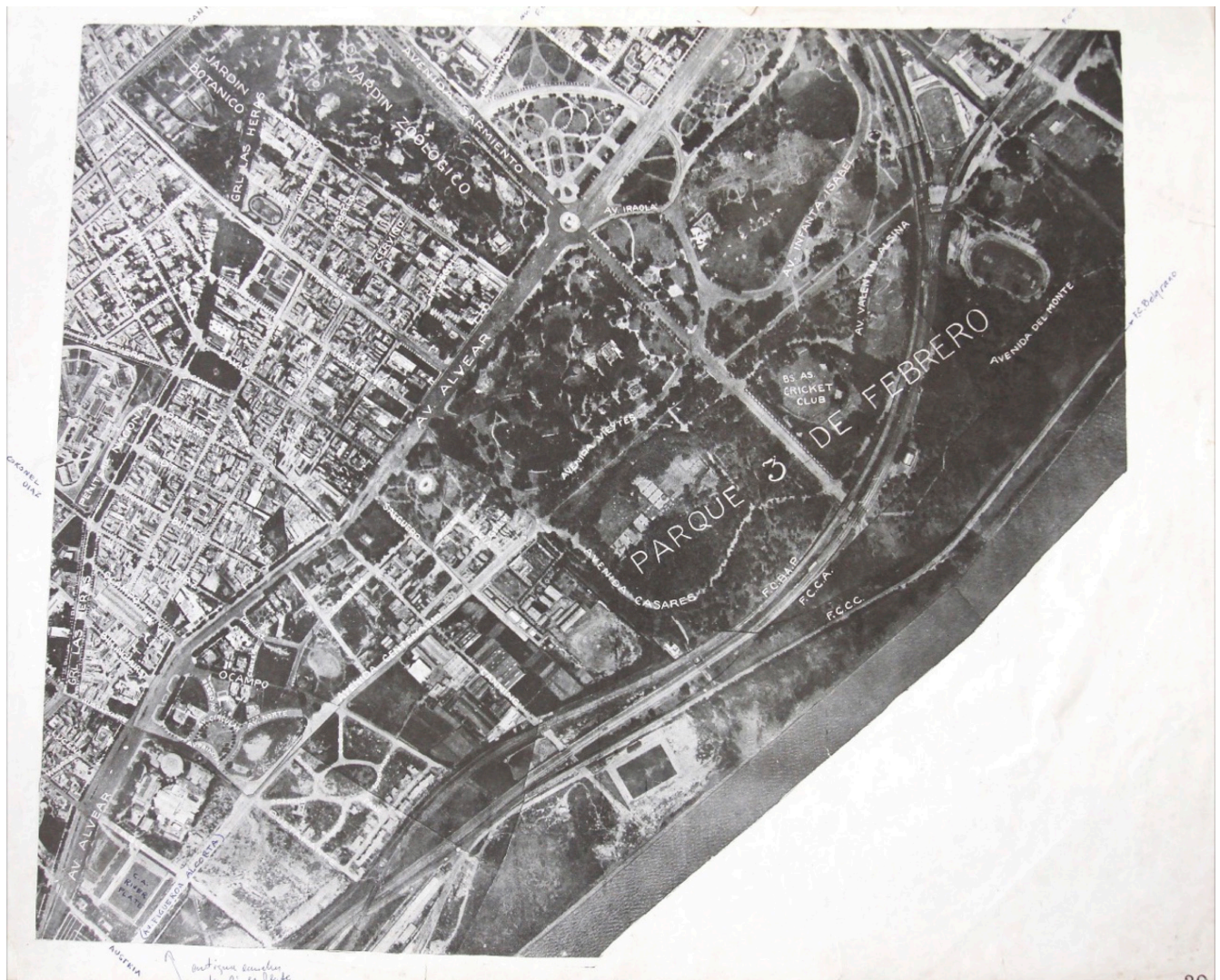


Fig. 1: Aerofotografia verticale che fa parte del mosaico del primo rilevamento aerofotografico della città di Buenos Aires, realizzato intorno al 1928. Collezione famiglia Borra.

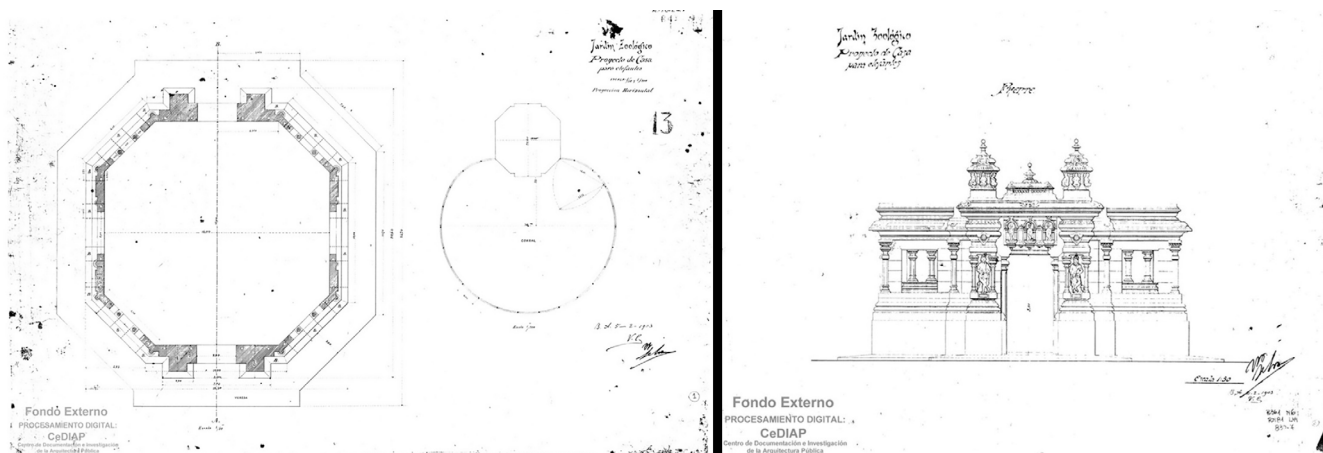


Fig. 2: Planimetria e prospetto del progetto della Casa degli Elefanti, 1903. Fonte CeDIAP.

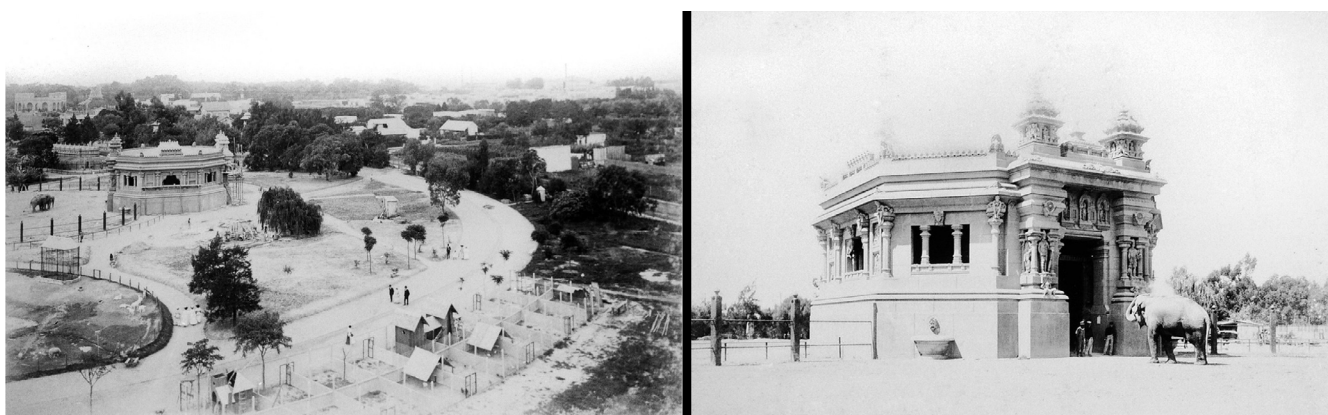


Fig. 3: Foto padiglione degli Elefanti, 1904.



Fig. 4: A sinistra: modello fotogrammetrico del Padiglione degli Elefanti. A destra: modello fotogrammetrico del Padiglione Indostanico.

il linguaggio architettonico eclettico dei padiglioni fosse parte integrante di un discorso politico e culturale, volto a rafforzare l'immagine di Buenos Aires come metropoli moderna e cosmopolita.

Il rilevamento si è svolto attraverso un rilievo fotogrammetrico speditivo da drone, che ha consentito

di acquisire immagini aeree e di generare ortofoto delle coperture e delle facciate.

Il rilievo geometrico del padiglione Indostanico e di quello degli elefanti (Fig. 4) è stato affiancato da un'analisi dei materiali costruttivi e delle patologie di degrado. Sono stati analizzati visivamente

campioni di intonaco, malta e pietra artificiale, finalizzati a identificare composizione, porosità, resistenze e processi di deterioramento (Fig. 5).

Le indagini hanno incluso anche strumenti diagnostici non invasivi, come la termografia infrarossa (Fig. 6) per l'individuazione di zone umide e distacchi.

Le patologie più frequenti rilevate sugli edifici sono risultate fessurazioni strutturali, ossidazione degli elementi metallici, distacco di ornamenti, erosione delle superfici esposte agli agenti atmosferici, di cui sono state poi effettuate mappature su ortofoto (Fig. 7).

I dati raccolti sono stati elaborati in un modello 3D parametrico (Fig. 7), successivamente trasferito in un ambiente HBIM, attraverso l'uso di software di programmazione visuale (VPL), grazie al quale è stato possibile collegare i dati analitici alle geometrie digitali, generando un modello informativo in cui ogni elemento architettonico è connesso a schede descrittive relative a materiali, stato di conservazione e trasformazioni storiche.

La metodologia adottata ha consentito di coniugare le esigenze di documentazione scientifica con quelle operative: questa fase ha avuto un duplice obiettivo, da un lato, costruire una banca dati digitale condivisibile tra i diversi attori coinvolti, dall'altro, predisporre uno strumento operativo per la pianificazione degli interventi di restauro e di valorizzazione [Matrone *et al.*, 2023].

Caso studio: Padiglione degli Elefanti

Il Padiglione degli Elefanti, progettato dall'architetto Virgilio Cestari e inaugurato nel 1904, è una delle architetture più rappresentative e iconiche dell'ex zoo. Lo stile architettonico trae ispirazione dai templi hindu, con una ricca decorazione scultorea affidata allo scultore Lucio Correa Morales [Corrani, P. V., 2010]. L'edificio non fu concepito come semplice recinto funzionale, ma come un vero e

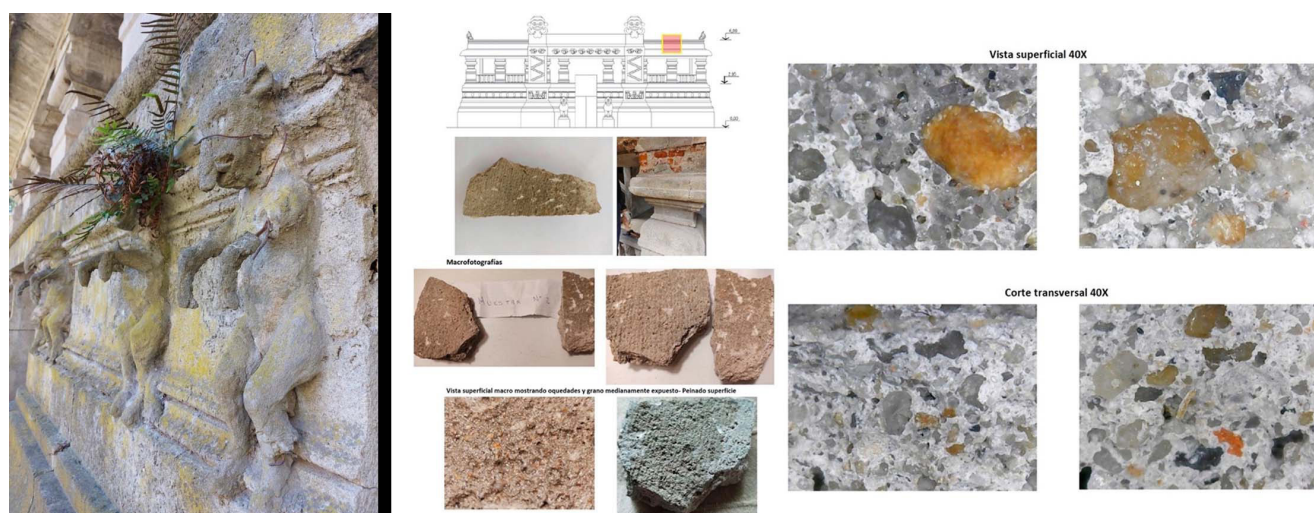


Fig. 5: Analisi della composizione granulometrica dei materiali presenti nel Padiglione Indostanico.

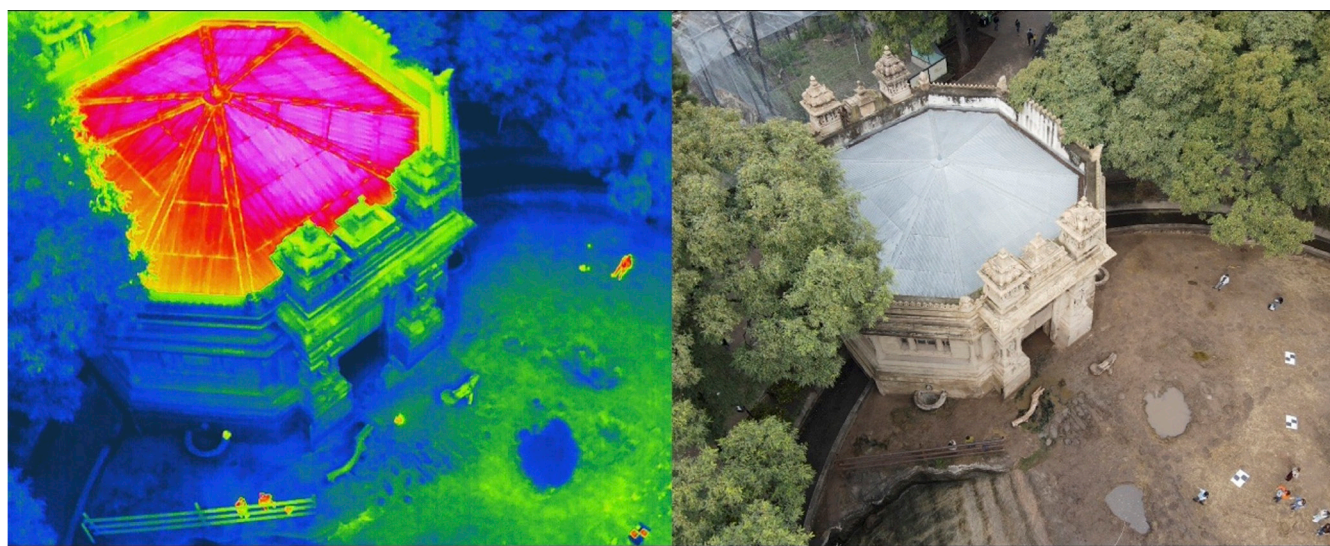


Fig. 6: Immagine termografica della copertura del Padiglione degli Elefanti.

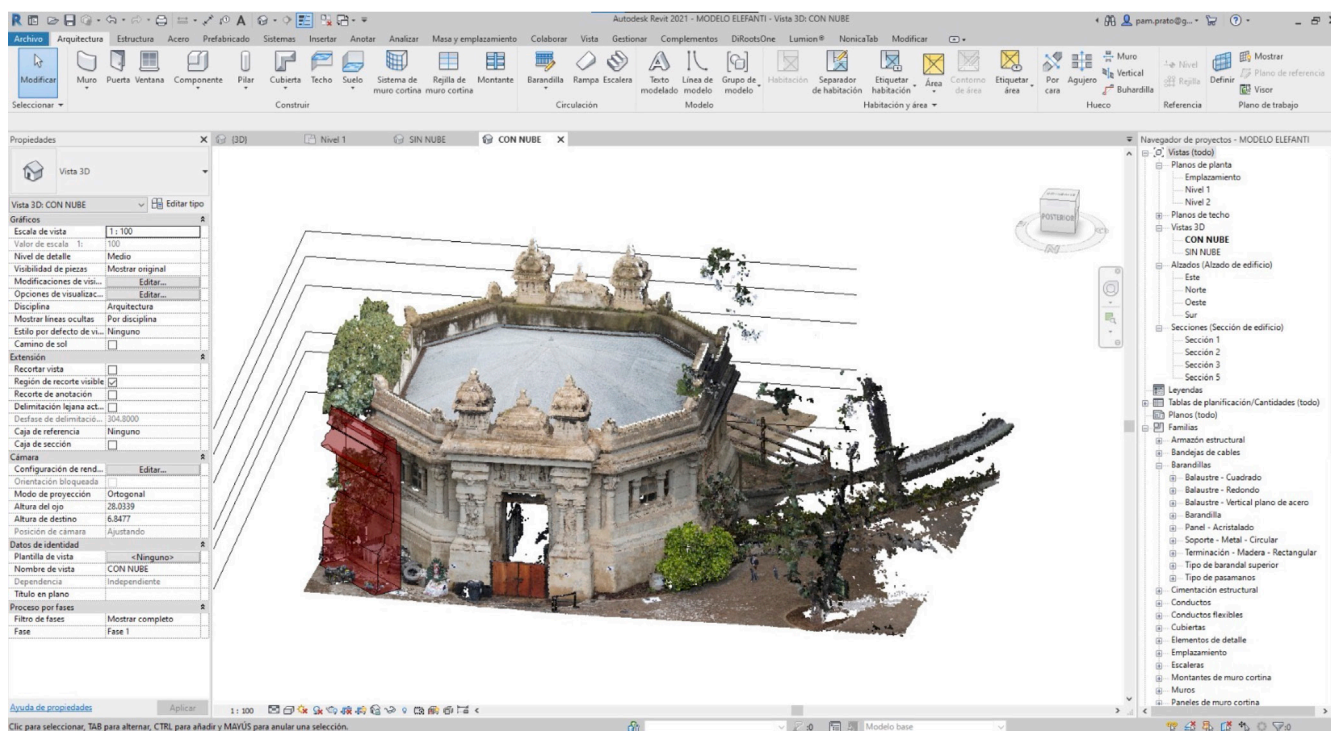


Fig. 7: Modello 3D parametrico del Padiglione degli Elefanti.

proprio monumento esotico, volto a impressionare i visitatori e a evocare mondi lontani. L'uso di riferimenti all'India coloniale rifletteva il gusto orientalista eclettico diffuso in Europa a fine Ottocento e importato in Argentina come segno di appartenenza a un circuito culturale internazionale.

Negli anni Duemila, esso è stato oggetto di interventi conservativi che hanno restituito almeno in parte la leggibilità delle superfici architettoniche.

Oggi, nell'ambito dell'Ecoparque, il padiglione è in corso di rifunzionalizzazione con finalità culturali e didattiche, in linea con la nuova missione del complesso.

Le indagini hanno rivelato un quadro di degrado diffuso, associato ai diversi tipi di materiali individuati con Unità Stratigrafiche dei Materiali (USM) (Fig. 8).

Queste condizioni sono state documentate con accuratezza mediante ortofoto e mappature digitali integrate nel modello HBIM.

Nel 2007 è stato avviato un intervento conservativo sul padiglione. Tuttavia, l'assenza di un piano di manutenzione programmata ha limitato l'efficacia a lungo termine degli interventi. L'adozione di un modello HBIM consente oggi di pianificare in modo più sistematico gli interventi futuri, collegando i dati diagnostici a un cronoprogramma di manutenzione [Brusaporci et al., 2024] [Barba et al., 2022].

Il Padiglione degli Elefanti non è soltanto un bene architettonico, ma un simbolo identitario dell'ex zoo. La sua valorizzazione passa anche attraverso la sua rifunzionalizzazione come spazio culturale, capace di accogliere mostre, eventi educativi e percorsi multimediali.

In questo senso, l'uso di applicazioni di realtà aumentata e realtà virtuale, sviluppate a partire dal modello digitale, permette di restituire al pubblico la dimensione storica e simbolica del padiglione, ricostruendone l'aspetto originario e rendendolo accessibile anche a persone con disabilità o a visitatori da remoto.

Caso studio: Padiglione Indostanico

Il Padiglione Indostanico, costruito nel 1901, rappresenta uno degli esempi più significativi dell'eclettismo architettonico che caratterizza il complesso dello zoo di Buenos Aires.

La costruzione, sebbene meno monumentale del Padiglione degli Elefanti, ripropone elementi stilistici analoghi, quali archi a ferro di cavallo, cornici decorate, motivi geometrici e ornamentali che richiamano l'arte indiana. Questa scelta rispondeva a una logica educativa e spettacolare, in cui l'architettura assumeva un ruolo narrativo, rafforzando la relazione simbolica tra gli animali ospitati e il loro presunto contesto culturale di provenienza.

A partire dagli anni '30, l'edificio fu oggetto di significative trasformazioni. Nel 1934, il padiglione venne riconvertito in bar, uno spazio destinato alla somministrazione di bevande e prodotti lattieri, in linea con la crescente funzione ricreativa dello zoo. Successivamente, l'edificio venne nuovamente adattato a funzioni amministrative e di servizio, accogliendo uffici e spazi logistici [Esparrach, Sassaroli, 2022].

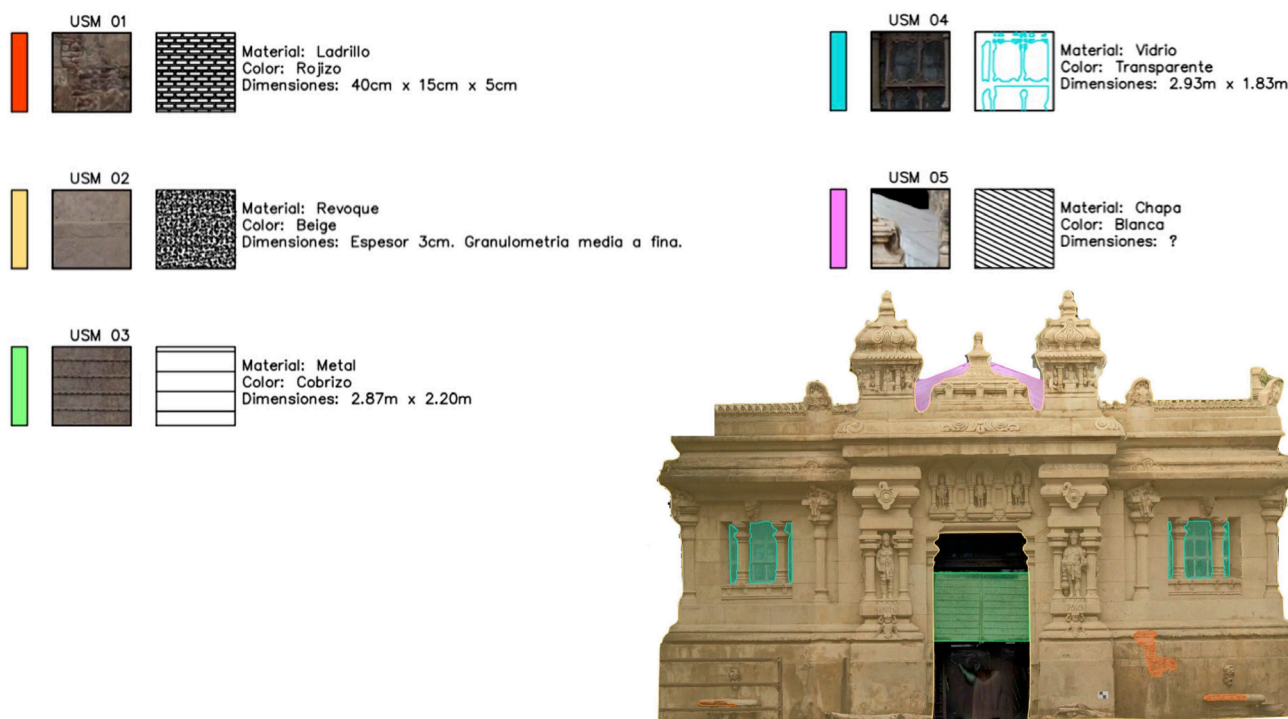


Fig. 8: Analisi delle USM nel Padiglione degli Elefanti.

Queste trasformazioni funzionali, se da un lato hanno garantito la continuità d'uso, dall'altro hanno compromesso parzialmente la leggibilità dell'impianto originario, introducendo modifiche interne non sempre rispettose delle caratteristiche architettoniche.

Le indagini diagnostiche hanno rivelato per ciascun tipo di materiale, USM, un quadro di degrado articolato, che riflette sia l'assenza di manutenzione regolare sia gli effetti delle trasformazioni d'uso. Il rilievo fotogrammetrico ha consentito di localizzare con accuratezza le aree maggiormente compromesse, fornendo una base oggettiva per la pianificazione degli interventi.

Il futuro del Padiglione Indostanico è oggi legato alla sua riconversione in spazio culturale e didattico, e tale prospettiva implica l'attivazione di una strategia integrata che tenga conto di tre aspetti fondamentali:

1. conservazione delle strutture originarie, attraverso interventi mirati di consolidamento e restauro delle superfici;
2. valorizzazione dell'architettura eclettica, restituendo al pubblico la dimensione scenografica e simbolica che caratterizzava il padiglione;
3. adattamento funzionale, in grado di conciliare le esigenze di sicurezza, accessibilità e uso contemporaneo con il rispetto delle caratteristiche storiche.

In questa prospettiva, l'adozione di un modello HBIM del padiglione permette di simulare scenari

alternativi di rifunionalizzazione, valutandone costi, tempi e impatti, e al tempo stesso di predisporre strumenti multimediali per la divulgazione e la fruizione [Barba et al., 2020].

Discussione

L'analisi dei due casi studio mette in evidenza il duplice valore di questo patrimonio. Da un lato, il valore architettonico e artistico, legato all'eclettismo e alla ricchezza decorativa; dall'altro, il valore simbolico e culturale, che riflette le ideologie e le rappresentazioni dell'epoca positivista argentina. In questo senso, la loro conservazione non riguarda soltanto la materia edilizia, ma anche la memoria collettiva e la comprensione critica del passato, come il rapporto tra autenticità e trasformazione d'uso. Questo fenomeno solleva interrogativi sul concetto stesso di autenticità nel restauro: è più importante conservare la funzione originaria o valorizzare la stratificazione storica degli usi? La risposta, secondo la prospettiva della teoria del restauro (da Brandi alla Carta di Venezia) [Brandi, 2000] [Romeo, Rudiero, 2025], non può essere univoca, ma deve bilanciare il rispetto delle preesistenze con l'adattamento alle esigenze contemporanee.

La lettura dei rilievi e delle fonti storiche a essi collegate, mediante l'attribuzione di valori semantici e funzionali a ciascun elemento architettonico attraverso la segmentazione (Fig. 9), integrata

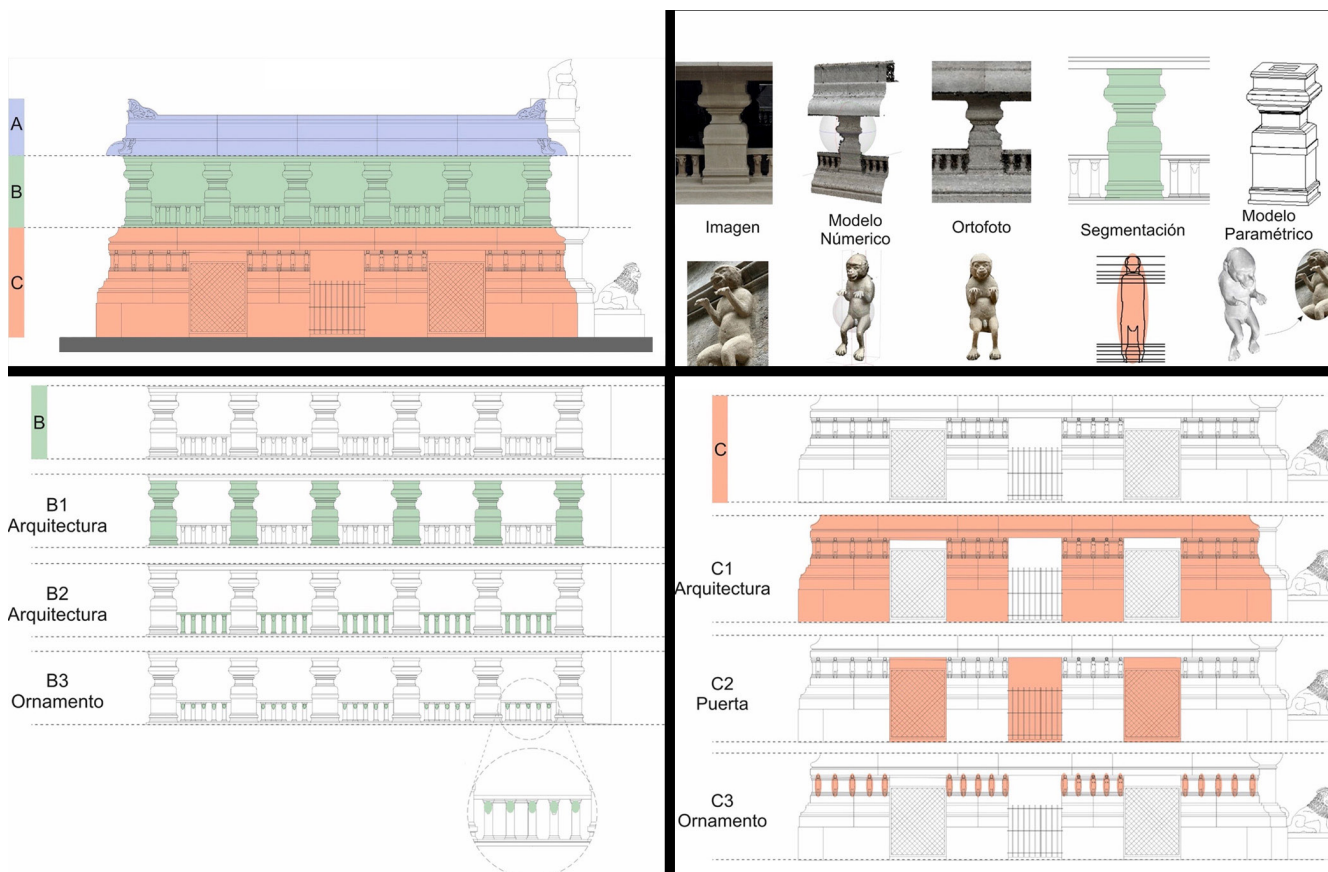


Fig. 9: Segmentazione semantica per parti, del Padiglione Indostanico, sia delle sue componenti architettoniche, che di quelle ornamentali per la realizzazione del modello informato.

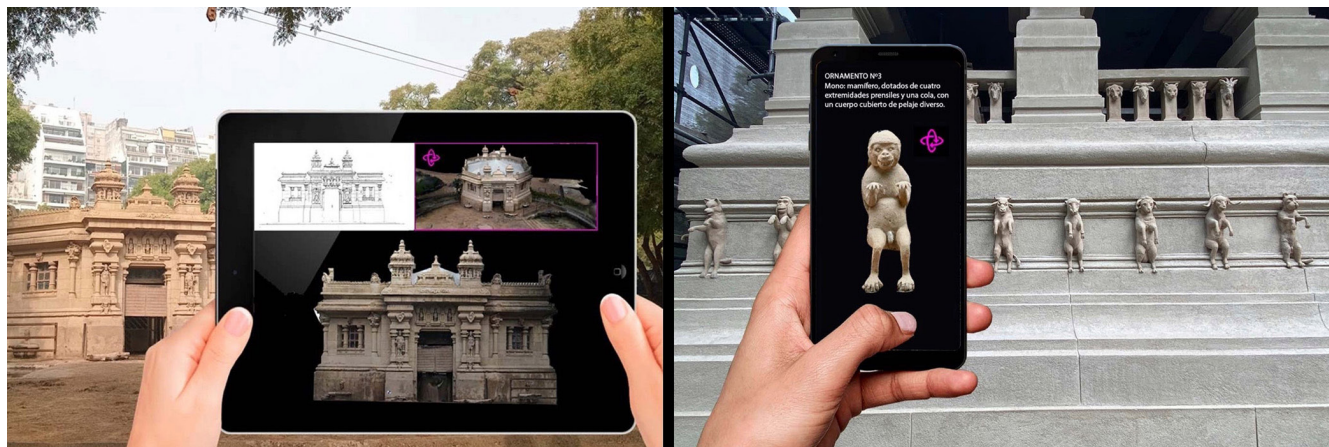


Fig. 10: A sinistra: valorizzazione del Padiglione degli Elefanti, mediante una navigazione virtuale della struttura e una lettura della sua evoluzione nel tempo. A destra: Valorizzazione del Padiglione Indostanico con modelli 3D degli ornamenti.

con tecnologie digitali di rilievo, modellazione visuo-parametrica, HBIM e strumenti di valorizzazione (Fig. 10), risulta determinante per affrontare tale complessità.

Il passaggio dall'HBIM al Digital Twin rappresenta la prospettiva futura: un modello dinamico, integrato con sensori IoT, che consenta il monitoraggio in tempo reale delle condizioni strutturali e ambientali, abilitando forme di manutenzione predittiva e gestione intelligente.

Conclusioni

Il lavoro condotto sullo Zoo di Buenos Aires e in particolare sui casi studio ha permesso di mettere in luce una serie di questioni cruciali che intrecciano conservazione architettonica, storia culturale e innovazione tecnologica.

Da un lato, l'analisi storica ha mostrato come questi edifici non siano semplici strutture edilizie, ma testimonianze materiali di una precisa ideologia

ottocentesca, in cui lo zoo veniva concepito come uno spazio educativo, spettacolare e politico, destinato a rappresentare la modernità e l'apertura internazionale dell'Argentina positivista. Le scelte stilistiche, eclettiche e spesso volutamente "esotiche", non erano casuali. Dall'altro lato, l'analisi dello stato di conservazione e delle trasformazioni funzionali ha rivelato le fragilità di questo patrimonio: modifiche non sempre rispettose, mancanza di manutenzione, degrado materico diffuso. Tuttavia, proprio questa stratificazione di usi e interventi rende tali edifici ancora più complessi, in quanto palinsesti architettonici che raccontano storie di adattamenti e reinterpretazioni successive.

La ricerca ha quindi, tramite un modello relazionale informativo il ruolo decisivo della conoscenza integrata (supportata da tecnologie digitali) e delle ICT digitali come strumenti non solo di documentazione, ma anche di progetto, gestione e comunicazione. L'adozione di metodologie come il rilievo laser scanner, la fotogrammetria, l'HBIM e le sperimentazioni di Digital Twin apre prospettive radicalmente nuove nella gestione del patrimonio culturale, permettendo una conoscenza più approfondita, una manutenzione più efficace e una fruizione più inclusiva.

Uno dei temi centrali emersi riguarda il concetto di autenticità.

Alla luce delle teorie del restauro, l'autenticità non coincide con l'immutabilità, ma con la capacità di un bene di mantenere leggibile la propria identità attraverso le trasformazioni. In questo senso, la sfida non è ripristinare un ipotetico "stato originario", ma riconoscere e valorizzare le stratificazioni storiche, interpretandole come parte integrante del valore culturale.

Questa prospettiva implica un approccio critico e selettivo, che sappia distinguere tra le trasformazioni da conservare come testimonianze storiche e gli interventi incongrui da correggere. L'autenticità, dunque, non è un concetto statico, ma dinamico, da negoziare costantemente tra memoria del passato e esigenze del presente.

Sul piano operativo, la ricerca dimostra come l'adozione di un workflow digitale integrato consenta di affrontare in modo più efficace la complessità del patrimonio zoologico-architettonico.

Il processo seguito dimostra come l'HBIM diventi una base per sviluppare il Digital Twin, un modello dinamico e interattivo che integra dati in tempo reale provenienti da sensori IoT. Questo strumento consente di monitorare le condizioni degli edifici, programmare interventi di manutenzione predittiva, valutare scenari di rifunionalizzazione e, non meno importante, sviluppare applicazioni di fruizione immersiva per il pubblico (realtà aumentata e virtuale).

In tal modo, le tecnologie digitali assumono una duplice funzione: da un lato quella gestionale e conservativa, garantendo un controllo continuo

sullo stato di conservazione; dall'altro quella comunicativa e inclusiva, offrendo nuove modalità di racconto e valorizzazione, accessibili anche a pubblici con esigenze speciali (persone con disabilità visive, uditive o motorie).

In questo quadro, il patrimonio architettonico assume un nuovo ruolo: non più semplice cornice funzionale per l'esposizione di animali, ma protagonista di percorsi culturali, educativi e turistici.

La ricerca contribuisce al dibattito internazionale sul patrimonio architettonico in almeno tre direzioni: estensione del concetto di Digital Twin al patrimonio culturale, interdisciplinarietà come metodo, dimensione internazionale e comparativa.

Le prospettive future si muovono in almeno quattro direzioni:

- sviluppo di piattaforme integrate HBIM-GIS, capaci di collegare i modelli 3D degli edifici con i sistemi informativi territoriali, al fine di analizzare l'interazione tra patrimonio architettonico e contesto del parco urbano;
- implementazione di sensori IoT per il monitoraggio in tempo reale delle condizioni microclimatiche e strutturali;
- sperimentazione di strumenti di fruizione immersiva per valorizzare gli edifici attraverso percorsi narrativi interattivi e inclusivi;
- indagini comparative su altri zoo storici latinoamericani (ad esempio, Santiago del Cile, Montevideo), per comprendere analogie e differenze e sviluppare strategie comuni di conservazione e valorizzazione.

In definitiva, lo studio sullo Zoo di Buenos Aires e sui suoi padiglioni storici mostra come la conservazione del patrimonio non possa essere ridotta a un mero problema tecnico. Si tratta piuttosto di una sfida culturale e sociale, che richiede di ripensare il rapporto tra passato e presente, tra memoria e innovazione, tra autenticità e trasformazione.

Bibliografía

A.A. V.V. (2023). *Ecoparque. Una transformación necesaria*. Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Barba, S., Gujski, L. M., & Limongiello, M. (2022). Supervised classification approach for the estimation of degradation. In A.A. V.V., *Representation challenges: New frontiers of AR and AI research for cultural heritage and innovative design* (pp. 171–178). Franco Angeli.

Barba, S., Barbato, D., di Filippo, A., Napoletano, R., & Ribera, F. (2020). BIM-oriented modelling and management of structured information for cultural heritage. In L. Agustín-Hernández, A. Vallespín Muiñesa, & A. Fernández-Morales (Eds.), *Graphical heritage: Atti del diciottesimo convegno International Congress of Expresión Gráfica Arquitectónica*, 24–25 settembre 2020, Zaragoza (pp. 630–640). Springer International Publishing.

Brandi, C. (2000). *Teoria del restauro*. Einaudi.

Bisgrove, D. (2022). Zooscape ecology: A conceptual analysis of zoos and landscape ecology. *Springer Nature*, 37, 1733–1745.

Brusaporci, S., Maiezza, P., Marra, A., Tata, A., & Vespasiano, L. (2024). HBIM procedures for the integration of sensor data. In M. Balzani, S. Bertocci, F. Maietti, & L. Rossato (Eds.), *Research innovation and internationalisation: National and international experiences between identity and inclusivity* (pp. 45–59). Maggioli Editore.

Corsani, P. V. (2010). Lucio Correa Morales. In R. Amigo (Ed.), *Museo Nacional de Bellas Artes. Colección* (Vol. 1, pp. 428–429). Asociación Amigos del Museo Nacional de Bellas Artes / Clarín.

Couper, R. (2018). Placing the origins of the zoo: An architectural analysis of the menagerie and the birth of the zoological garden. *Architectural Histories*, 6(1), 1–18. Society of Architectural Historians, Australia and New Zealand.

Esparrach, E., & Sassaroli, J. C. (2022). *Historia del Zoológico de Buenos Aires 1888-2020*. Vazquez Mazzini Editores.

Holmberg, E. L. (1893). *Revista del Jardín Zoológico de Buenos Ayres*. Compañía Sud-Americana de Billetes de Banco.

Matrone, F., Spallone, R., Di Filippo, A., & Potenzianni, M. (2023). The HBIM–GIS Main10nance platform to enhance the management and conservation of

multi-site heritage landscapes: Outcomes of the Main10nance project. *Sensors*, 23(19). <https://doi.org/10.3390/s23198112>

Pezzetta, S. (2020). La disputa sobre los derechos de los demás animales. El caso del zoológico de la ciudad de Buenos Aires (Argentina). *Aposta. Revista de ciencias sociales*, 87, 106–139. Dialnet Métricas.

Romeo, E., & Rudiero, R. (2025). Il dibattito internazionale e le riflessioni sul restauro archeologico dalla Conferenza di Atene (1931) alla Carta di Venezia (1964) e oltre. In S. Caccia Gherardini (Ed.), *La genealogia del restauro: La conservazione dei monumenti dalla Conferenza di Atene alla Carta di Venezia (1931-1964)* (pp. 53–73). ETS.

DAL “CASTELLO ELETTRICO” ALL’USINA DEL ARTE: ARCHITETTURE INDUSTRIALI DELLA CIAE A BUENOS AIRES

From the “Electric Castle” to the Usina del Arte:
Industrial Architectures of the CIAE in Buenos Aires

Authors

Adriana Caldarone¹, Tommaso Empler¹, Stefania Tuzi¹

¹Sapienza Università di Roma, Dipartimento Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

Email

adriana.caldarone@uniroma1.it
tommaso.empler@uniroma1.it
stefania.portoghesituzi@uniroma1.it

Keywords

USINA
3D MODELING
HBIM
BUENOS AIRES

Abstract¹

La ricerca analizza le architetture industriali della Compañía Ítalo-Argentina de Electricidad (CIAE) a Buenos Aires, progettate dall'architetto Giovanni Chiogna a partire dal 1916, con particolare attenzione al caso della *Usina* Pedro de Mendoza, oggi *Usina del Arte*. La ricerca indaga il fenomeno secondo tre prospettive: storica, ricostruendo il contesto della modernizzazione urbana e il ruolo della comunità italiana; architettonica, attraverso lo studio del linguaggio formale e simbolico delle cosiddette *Unisas*, *Subusinas* e *Subestaciones*; metodologica, mediante l'impiego rilevamento integrato, rappresentazione e modellazione HBIM per la documentazione e la valorizzazione del patrimonio.

The research examines the industrial architecture of the Compañía Ítalo-Argentina de Electricidad (CIAE) in Buenos Aires, designed by architect Giovanni Chiogna beginning in 1916, with a particular focus on the *Usina* Pedro de Mendoza, now known as the *Usina del Arte*. The study investigates this phenomenon from three intertwined perspectives: historically, by reconstructing the context of urban modernization and the role of the Italian community; architecturally, through an analysis of the formal and symbolic language of the so-called *Unisas*, *Subusinas*, and *Subestaciones*; and methodologically, by employing integrated surveying, representation, and HBIM modeling for the documentation and enhancement of cultural heritage.

Introduzione

L'espansione industriale e infrastrutturale che caratterizzò Buenos Aires tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo non si tradusse unicamente in innovazioni tecnologiche e in un miglioramento delle condizioni urbane, ma anche in una trasformazione profonda del paesaggio architettonico della città [Basile, 2024]. La diffusione dell'elettricità, in particolare, richiese la costruzione di impianti di generazione e, tra questi, un ruolo di primo piano spetta alle centrali della Compañía Ítalo-Argentina de Electricidad (CIAE), progettate dall'architetto italiano Giovanni Chiogna a partire dal 1916.

Questi edifici, noti come *Unisas*, *Subusinas* e *Subestaciones* (Fig.1), si distinguono per il loro linguaggio architettonico peculiare, che richiama i castelli medievali lombardi e toscani tramite elementi che si combinano in un'immagine fortemente simbolica, capace di comunicare solidità, affidabilità e progresso. Tali elementi sono tuttavia reinterpretati con stili e materiali appartenenti al "Nuovo Mondo", di fatto costituendo un

1_ La ricerca è il risultato di un lavoro congiunto dei tre autori e del prof. Luis Eduardo Tosoni. Nella stesura del testo, in particolare, Adriana Caldarone si è occupata dei paragrafi 1 e 5, Tommaso Empler dei paragrafi 4 e 6, Stefania Tuzi dei paragrafi 1, 3 e 7.

"dialetto edilizio" delle architetture elettriche per la città di Buenos Aires.

Una delle più note di queste strutture, la *Usina* Pedro de Mendoza, è oggi conosciuta come *Usina del Arte*, importante centro culturale della capitale argentina.

La ricerca si propone di analizzare le architetture industriali della CIAE secondo tre prospettive principali: storica, ricostruendo il contesto di fondazione della compagnia e l'attività di Giovanni Chiogna; architettonica, studiando il linguaggio formale e simbolico delle *Usinas*; metodologica, approfondendo i metodi di rilievo, analisi e rappresentazione che oggi consentono di documentare, conservare e valorizzare questo patrimonio.

In questa prospettiva, il caso della *Usina* Pedro de Mendoza rappresenta non solo un esempio emblematico di archeologia industriale, ma anche un laboratorio di sperimentazione per l'integrazione tra memoria storica e riuso contemporaneo.

La presente ricerca è il frutto di una collaborazione nata tra Italia e Argentina già a partire dal 2022 tra l'Istituto di Arte Americano (IAA) della FADU-UBA di Buenos Aires e il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura di Sapienza Università di Roma. Tale collaborazione si deve anche al prof. Luis Eduardo Tosoni, di cui se ne conserva oggi un caro ricordo.



Usina 1 – Av. Azara



Subusina 6
Av. Lacroze



Subusina 7
Av. Venancio Flores



Subusina 8
Av. Montevideo



Usina Pedro de Mendoza (Caso studio) – Barrio La Boca



Subestaciones 22 – Av. De Los Italianos



Fig. 1: *Unisas*, *Subusinas* e *Subestaciones* della città di Buenos Aires. Sono evidenti chiari elementi caratteristici dei "Castelli lombardi" come torri merlate, finestre ad arco o bifore e murature in mattoni a vista.

Contesto storico: l'elettricità a Buenos Aires

L'introduzione dell'elettricità a Buenos Aires si inserisce in un processo globale di modernizzazione urbana che, tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento, trasformò radicalmente le grandi capitali del mondo. La città argentina, già segnata da una rapida espansione demografica dovuta all'immigrazione europea, necessitava di servizi moderni in grado di sostenere il suo ruolo di metropoli emergente.

La svolta avvenne all'inizio del Novecento, quando le autorità municipali avviarono concessioni per la costruzione di impianti di produzione elettrica su larga scala. In questo contesto, nel 1911 venne fondata la Compañía Ítalo-Argentina de Electricidad (CIAE) [Gómez-Ibáñez, 1999], il cui obiettivo era quello di produrre e distribuire energia elettrica in Argentina per l'illuminazione pubblica e privata. Nonostante la compagnia fosse di origine svizzera, perché apparteneva alla holding Motor-Columbus, con sede a Baden, il nome dell'azienda, comunemente denominata "la Ítalo", derivava da una strategia di "marketing" volta a identificarsi con gli immigrati italiani che, all'epoca, costituivano circa un quarto della popolazione di Buenos Aires².

Nel 1912 la società ottenne la sua prima concessione per fornire energia elettrica alla città di Buenos Aires per 50 anni³. Una volta ricevuta la concessione la scelta della Compagnia fu quella di creare un'immagine identitaria attraverso la costruzione di edifici che, pur se di diverse dimensioni, volevano stabilire una relazione non solo con il luogo ma anche con il gran numero di immigrati italiani che vivevano la città. Ciò doveva essere realizzato non solo attraverso il nome dato alla Compagnia, Italo Argentina, ma anche attraverso il linguaggio formale delle architetture costruite. Non è un caso quindi che per progettare le centrali, le stazioni e le sottostazioni elettriche venne chiamato un architetto italiano, Giovanni Chiogna.

Trasferitosi a Buenos Aires, Chiogna sviluppò un linguaggio eclettico che reinterpretava motivi medievali in chiave industriale, fondendo estetica e funzionalità. La scelta dell'architetto ricadde sull'adozione di stili derivati dal romanico lombardo, in particolare i castelli e le rocche. Ciò venne esplicitato anche nel volume CIAE, del 1916 quando, in

2_ Ulteriore legame della società con la comunità italiana in Argentina era anche il fatto che gran parte dei dirigenti e dipendenti della CIAE erano italiani e alla guida di tutto c'era l'ingegnere italiano Juan Carosio.

3_ Al termine di questo periodo il Comune avrebbe acquisito gli impianti della Compagnia pagando la parte non ammortizzata del capitale investito in essi, oppure avrebbe rinnovato la concessione per altri 25 anni, acquisendo gratuitamente gli impianti alla scadenza della stessa.

occasione dell'inaugurazione della centrale Pedro de Mendoza, si affermava che "Lo stile architettonico di questa centrale, come quello di tutte le altre, si ispira allo stile lombardo"⁴.

In questo modo "[...] la CIAE lograba transmitir a la población – mediante alusiones a castillos italianos, especialmente al de los Sforza, en Milán– una fuerte sensación de protección y poderío, fundamental en quienes tuvieran la responsabilidad de proveer la electricidad doméstica, frecuentemente inestable y poco confiable hasta esas épocas. Es por eso que estos edificios debían ser importantes, palacios, y no simples galpones industriales. Al mismo tiempo, esta imagen edilicia permitía a la CIAE incorporar sus edificios en los barrios de viviendas sin provocar quejas, demostrando a la sociedad de la época que, si había voluntad, la industria podía convivir armónicamente con la arquitectura de la ciudad." [Barcina, 2005].

Gli edifici realizzati da Chiogna vennero apprezzati proprio per i caratteri formali adottati e anche la stampa locale ne elogiò i risultati, leggibili anche in un articolo pubblicato su La Razon il 28 settembre 1916, in occasione dell'inaugurazione della centrale Pedro de Mendoza [La Razon, 1916], e sul giornale La Nación che, nel 1916 all'interno di un capitolo dedicato agli italiani, inserito in un numero speciale per il centenario dell'Indipendenza del paese, ricordava l'opera di Chiogna [Barcina, 2005].

La Usina Pedro de Mendoza

La Usina Pedro de Mendoza, costruita a partire dal 1914 (Fig.2) e inaugurata nel 1916 [Barcina, 2005], rappresenta una prima grande centrale elettrica della Compañía Ítalo-Argentina de Electricidad (CIAE).

Dal punto di vista architettonico, la Usina Pedro de Mendoza si presenta come un complesso articolato, composto da corpi di fabbrica in muratura. La torre principale, visibile dal fiume e dal quartiere circostante, fungeva da vero e proprio landmark urbano, segnalando la presenza della centrale e simbolizzando la potenza della nuova energia elettrica. All'interno, gli spazi erano organizzati per accogliere i grandi macchinari di generazione e trasformazione, con ambienti ampi e ben illuminati, pensati per favorire sia l'efficienza operativa che il controllo visivo delle operazioni. Questo aspetto rivela la capacità di Chiogna di integrare esigenze funzionali e rappresentative, in linea con la tradizione delle grandi architetture industriali europee [Canali, 2024].

4_ Compañía Ítalo Argentina de Electricidad / Società per azioni, Inaugurazione della centrale elettrica principale a vapore in via Pedro de Mendoza all'angolo con Sengüel - 28 settembre 1916 - Buenos Aires: Officine grafiche della Cia. General de Fósforos.

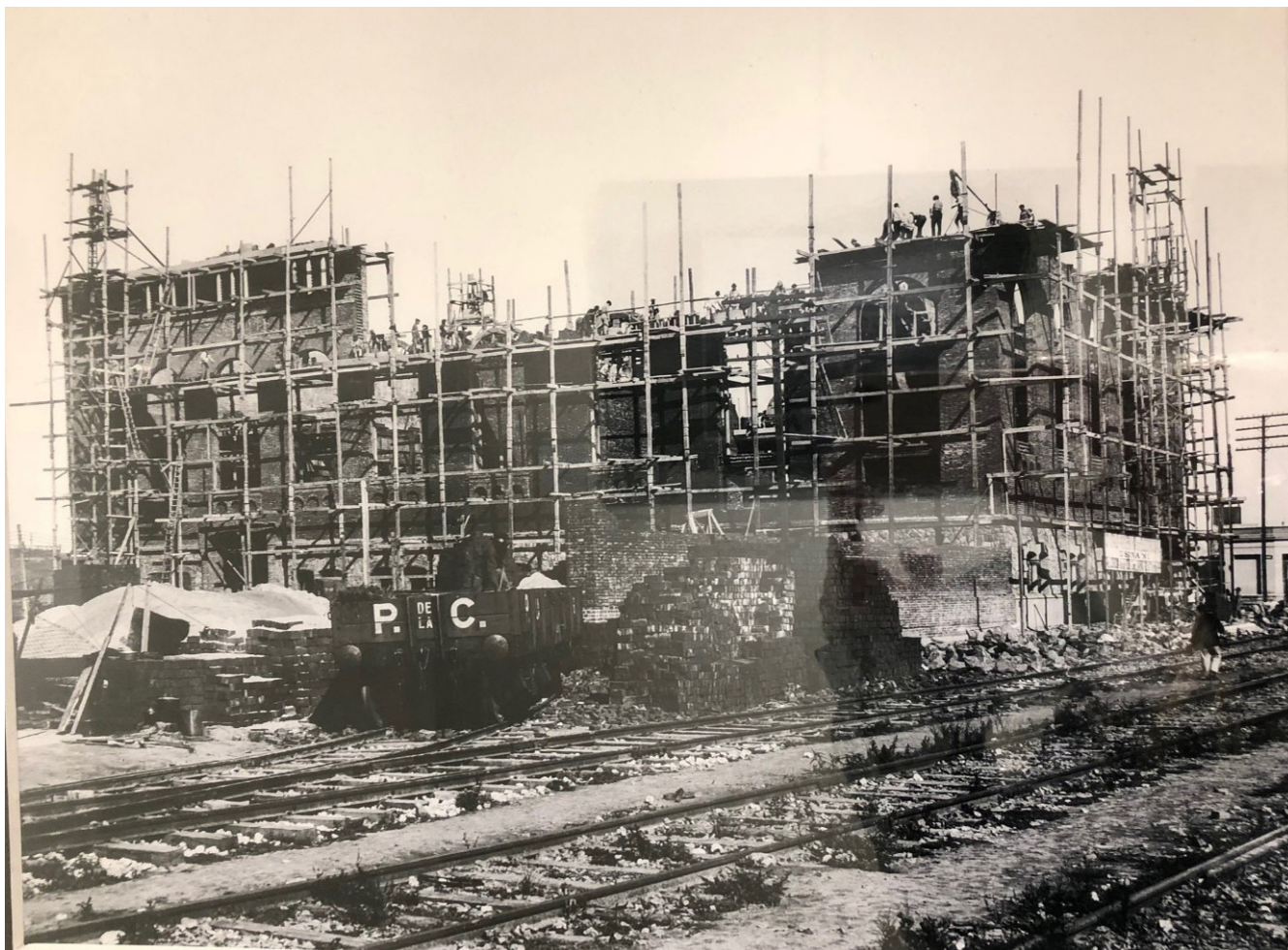


Fig. 2: La Usina Pedro de Mendoza durante la sua costruzione nel 1915. Fonte: <https://buenosaires.gob.ar/cultura/usina-del-arte/historia>.

Con il progressivo cambiamento del sistema energetico e la costruzione di nuovi impianti più moderni, la Usina Pedro de Mendoza perse gradualmente la sua funzione originaria. Dopo un periodo di parziale abbandono, l'edificio fu recuperato e trasformato in Usina del Arte, importante polo culturale di Buenos Aires dedicato a concerti, esposizioni e attività artistiche.

Questa rifunzionalizzazione, avviata nei primi anni Duemila, ha permesso di restituire l'edificio alla collettività, valorizzandone la memoria industriale e integrandolo nel tessuto urbano contemporaneo. Oggi, la Usina del Arte è non solo un esempio virtuoso di riuso del patrimonio industriale, ma anche uno dei luoghi simbolo della cultura argentina.

Metodologia della ricerca

La ricerca sulle architetture industriali della CIAE e sulla Usina Pedro de Mendoza si è basata su una metodologia integrata, che ha combinato fonti storiche, rilievi con strumentazione ad acquisizione massiva, analisi dei materiali e delle tecniche costruttive, ed infine sistemi di rappresentazione e modellazione informata.

Il primo passo ha riguardato la raccolta e lo studio di documenti d'archivio: planimetrie originali, fotografie storiche, rapporti tecnici della CIAE, articoli di giornale dell'epoca (Fig. 3). Queste fonti hanno permesso di ricostruire la genesi del progetto, le trasformazioni avvenute nel tempo e il ruolo dell'edificio nel contesto socioculturale del quartiere di La Boca.

La fase successiva ha previsto un rilievo accurato dell'edificio, condotto attraverso sistemi di rilievo speditivo (Caldarone, 2021), con fotogrammetria da drone, utile per acquisire dati sulle coperture e sulle facciate, nonché sulle parti più difficilmente accessibili, a sua volta integrato da sistemi di fotogrammetria mobile mapping system (MMS) [Calantropio et al., 2017], anche al fine di verificarne l'efficacia e l'affidabilità. La campagna è stata completata con rilievo diretto, necessario per il controllo delle tolleranze e la corretta riduzione in scala del modello tridimensionale generato (Fig. 4).

Queste tecniche hanno permesso di documentare l'edificio in modo completo, e di restituirne non solo la geometria tridimensionale ma anche elaborati grafici bidimensionali (ortofoto). Parallelamente, sono stati condotti studi sui materiali



Fig. 3: Locandine per l'inaugurazione della Compañía Ítalo Argentina de Electricidad che inquadrano la *Usina* principale in via Pedro de Mendoza. 1916. Fonte: Buenos Aires, Talleres gráficos de la Cía. General de Fósforos.

costitutivi (mattoni, malte, intonaci, elementi metallici) attraverso analisi di laboratorio e indagini diagnostiche in situ come la termografia (prova non distruttiva e non invasiva). Tali indagini hanno consentito di individuare le principali patologie e materiali altrimenti non visibili da una sola ispezione oculare. Materiali e degrado sono stati poi mappati preliminarmente sulle ortofoto (Figg. 5-6) e, con le geometrie, hanno costituito la banca dati per lo sviluppo del modello HBIM nella fase finale del flusso di lavoro.

Modellazione digitale e HBIM

I dati acquisiti sono stati integrati all'interno di un modello HBIM, configurato come piattaforma dinamica per la simulazione di scenari di intervento, la programmazione della manutenzione e il supporto ai processi di valorizzazione mediante strumenti ICT. La complessità della ricerca non risiede unicamente nell'approccio interdisciplinare, ma soprattutto nella definizione di strategie finalizzate alla rappresentazione dei valori culturali dell'opera architettonica (Bianchini, 2023), restituendo le intenzioni progettuali, le convenzioni costruttive dell'epoca e i caratteri compositivi dell'edificio, derivanti

da stratificazioni storiche, simboliche e sociali proprie del contesto italiano, ormai decontestualizzati e talvolta reinterpretati con funzioni non più coerenti con quella originaria. Il primo passo imprescindibile è chiaramente l'analisi geometrica degli elementi, che ci restituisce anche una base tridimensionale per la modellazione, ma sebbene le soluzioni tecnologiche ci forniscano un controllo dimensionale e qualitativo delle componenti edilizie, esse non sono in grado di rivelare le ragioni (compositive, storiche, tecnologiche, culturali) che hanno determinato la specifica conformazione di un determinato elemento. Per tale ragione è stata condotta una scomposizione semantica dell'organismo architettonico, al fine di interpretarne i caratteri costitutivi (Figg. 7-8). In particolare, sono stati riconosciuti gli elementi derivati dalla tradizione romanica lombarda, il cui originario significato funzionale e simbolico si è perso, trasformandosi in mero elemento decorativo; parallelamente sono stati identificati gli elementi effettivamente funzionali, ancora dotati di un ruolo operativo nell'edificio. L'analisi ha preso in esame componenti quali finestre, mensole, archi e chiavi di volta, scudi araldici aziendali applicati alle murature, frontoni recanti il nome della compagnia, rosoni, lucernari e merlature. A partire da tali elementi è stata

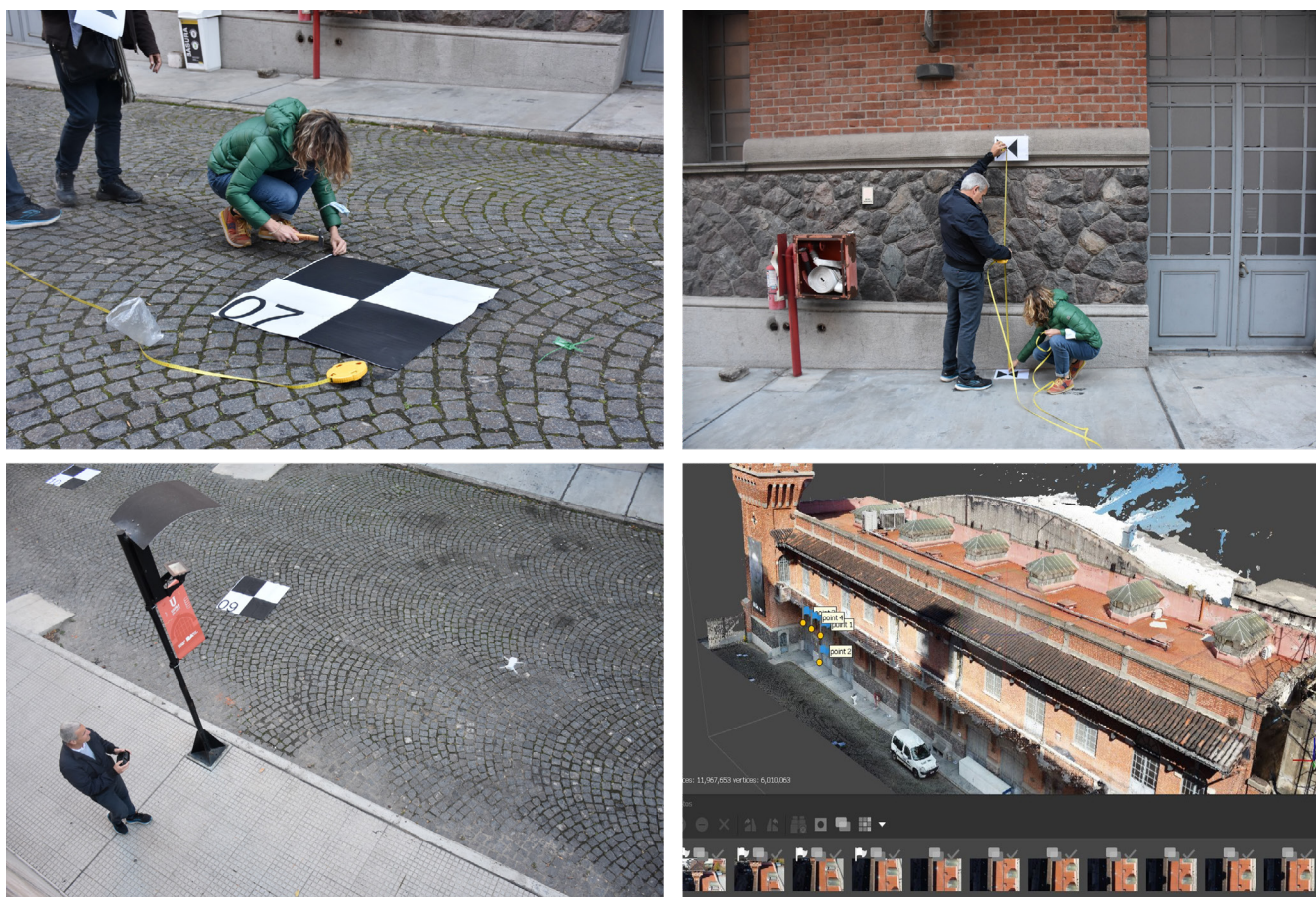


Fig. 4: Alcune fasi del rilievo diretto e strumentale. In basso a destra la nuvola di punti risultante.

svilupata un'indagine proporzionale finalizzata alla definizione di regole geometriche ricorrenti per caratterizzare e riprodurre i modelli tipici delle *Usinas*, *Subusinas* e *Subestaciones*, costruendo una "grammatica" [Chiavoni *et al.*, 2024] applicabile ad altri casi presenti nel tessuto urbano. Sono stati inoltre individuati gli elementi unici e non replicabili, quali fregi modanati e dettagli decorativi specifici.

Il modello digitale è stato infine arricchito con informazioni sui materiali e sullo stato di conservazione, così da costituire uno strumento integrato per la gestione conoscitiva e operativa dell'edificio.

Discussione critica

Le *Usinas* della CIAE, e in particolare la *Usina* Pedro de Mendoza, rappresentano un caso emblematico di come l'architettura industriale possa trascendere la pura funzionalità per assumere un significato culturale e simbolico più ampio.

Uno dei nodi centrali riguarda il tema dell'autenticità. La *Usina* Pedro de Mendoza ha subito nel tempo numerose trasformazioni, culminate con la sua rifunzionalizzazione in *Usina* del Arte. Se da un lato queste modifiche hanno alterato alcune caratteristiche originarie, dall'altro hanno permesso di

garantire la sopravvivenza dell'edificio, restituendolo alla collettività con nuove funzioni.

Secondo la prospettiva teorizzata da Cesare Brandi [Brandi, 1977] e recepita dalla Carta di Venezia [AA.VV., 1964], l'autenticità di un bene non risiede esclusivamente nella sua forma originaria, ma nella capacità di trasmettere valori culturali attraverso le stratificazioni storiche. In questo senso, la rifunzionalizzazione non compromette l'autenticità dell'edificio, ma ne arricchisce la biografia, rendendolo testimone di epoche e usi diversi.

Il caso della CIAE trova paralleli significativi in altri contesti internazionali. A Londra, Parigi e Berlino, numerose centrali elettriche storiche sono state riconvertite in spazi culturali.

In questo quadro, Buenos Aires si inserisce in un trend globale, ma lo fa con caratteristiche peculiari: la forte componente identitaria legata alla comunità italiana e l'uso di un linguaggio architettonico specifico. Questa unicità conferisce alle *Usinas* un valore aggiunto, che merita di essere riconosciuto e valorizzato anche a livello internazionale.

Per tale motivo, il ricorso a metodologie di digitalizzazione non è solo una scelta tecnica, ma rappresenta un cambiamento di paradigma nella gestione del patrimonio. Questi strumenti consentono infatti di documentare in modo integrale e accurato

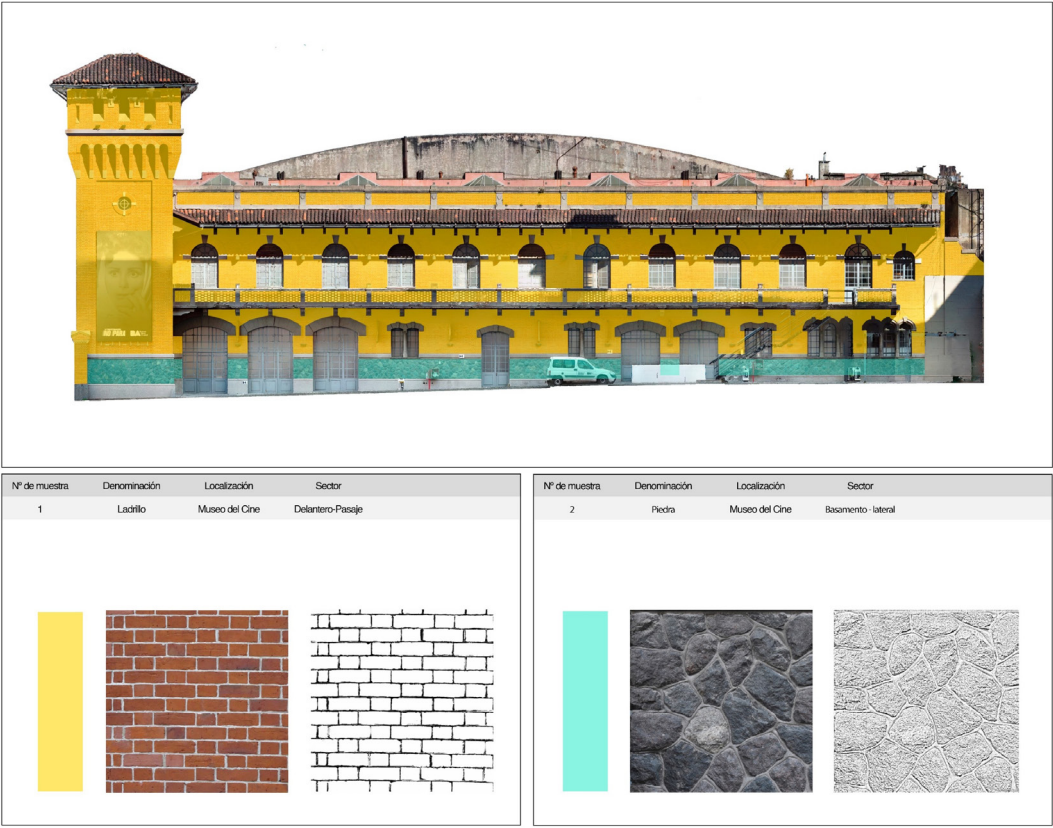


Fig. 5: Analisi e mappa dei materiali su una delle facciate dell'Usina Pedro de Mendoza.

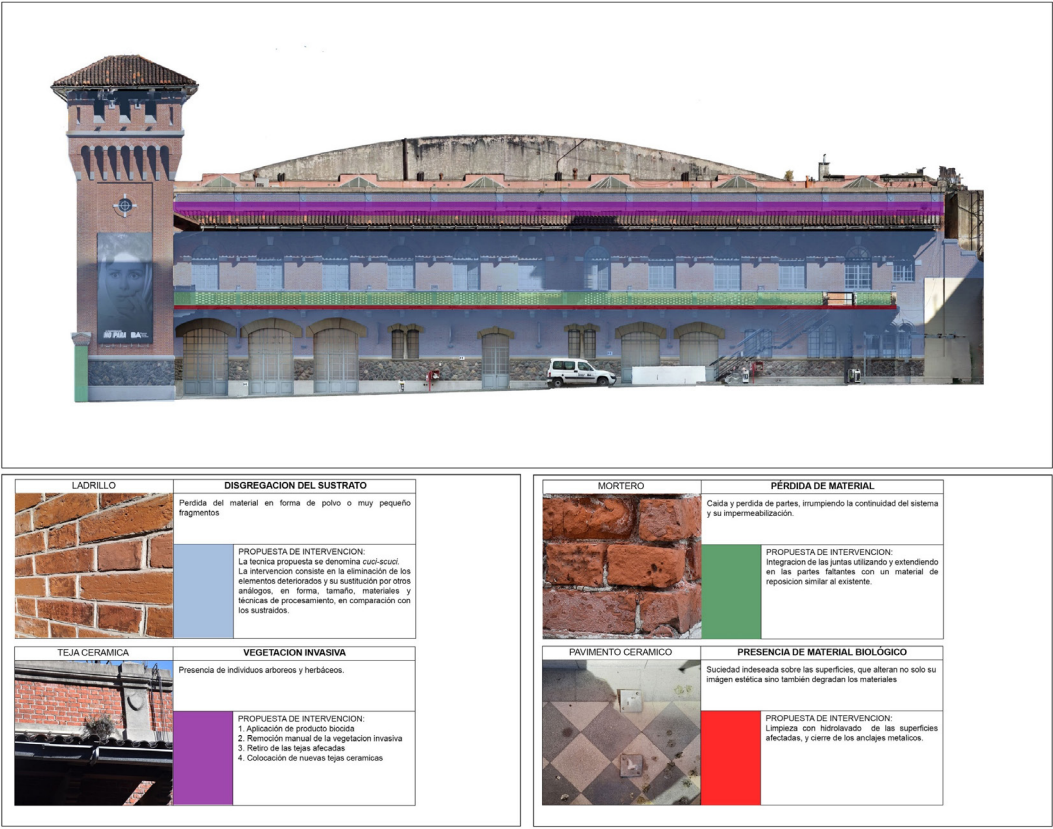


Fig. 6: Analisi e mappa del degrado su una delle facciate dell'Usina Pedro de Mendoza.

lo stato degli edifici, di monitorare nel tempo le condizioni strutturali e ambientali, di simulare scenari di intervento e rifunzionalizzazione e di offrire al pubblico esperienze di fruizione immersiva, accessibili anche a persone con disabilità.

Conclusioni

La ricerca sulle architetture della CIAE e in particolare sulla *Usina* Pedro de Mendoza mette in evidenza tre risultati principali: in primis le *Usinas* non sono semplici infrastrutture energetiche, ma testimonianze materiali della modernizzazione di Buenos Aires e della presenza italiana in Argentina. In secondo luogo, si nota come le trasformazioni d'uso non hanno

compromesso l'autenticità degli edifici, ma ne hanno, semmai, arricchito la storia e la rifunzionalizzazione in spazi culturali, come nel caso della *Usina* del Arte, dimostra come l'archeologia industriale possa essere valorizzata attraverso nuovi usi compatibili. Infine, l'impiego di rilievo laser scanner, fotogrammetria, HBIM e rappresentazione, apre nuove possibilità nella documentazione, gestione e valorizzazione del patrimonio industriale. Questi strumenti consentono non solo una migliore conservazione, ma anche una fruizione più inclusiva e innovativa.

Il caso della CIAE sottolinea l'importanza di un approccio interdisciplinare alla conservazione del patrimonio industriale, che integri competenze storiche, architettoniche, ingegneristiche e tecnologiche. Solo un dialogo tra queste discipline può

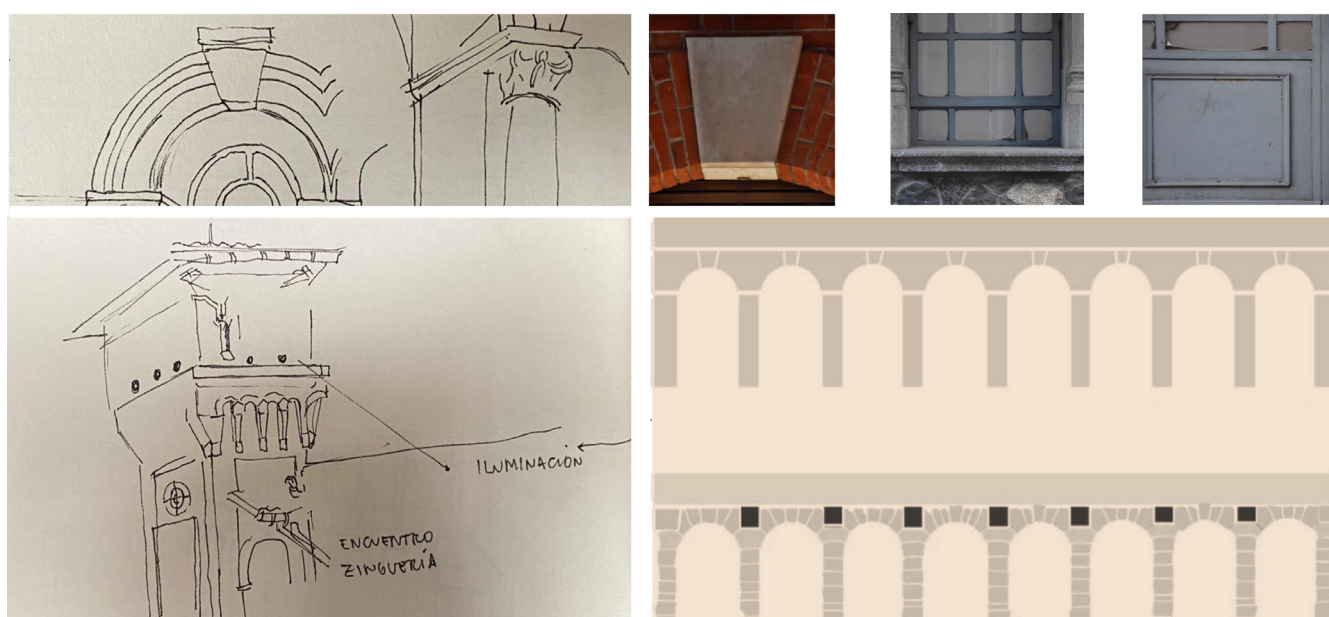


Fig. 7: Studio a vista degli elementi compositivi ed analisi ritmica delle aperture.



Fig. 8: Scomposizione semantica sulla *Subestación* situada su Avenida de los Italianos al fine di rintracciare elementi ripetibili in tutti gli edifici della società elettrica.

garantire interventi sostenibili, capaci di rispettare l'identità dei luoghi e al tempo stesso di renderli funzionali alle esigenze contemporanee.

Al tempo stesso, è fondamentale promuovere un dialogo internazionale, confrontando l'esperienza argentina con quella di altre città che hanno saputo trasformare il proprio patrimonio industriale in motore di rigenerazione urbana.

Il "castello elettrico" che un tempo custodiva l'energia di Buenos Aires è oggi un centro pulsante di arte e cultura: questa metamorfosi dimostra che, quando il passato viene compreso e valorizzato, può diventare il motore più potente per immaginare il futuro.

Bibliografia

AA. VV. (1964). *Carta di Venezia: Carta internazionale per la conservazione e il restauro dei monumenti e dei siti*. Venezia: International Council on Monuments and Sites ICOMOS.

Barcina F. (2005). Recuerdos de italia en la luz porteña el patrimonio de la electricidad. Usinas y subestaciones transformadoras de la compañía italo-argentina de electricidad en la ciudad de buenos aires. Didáctica e interpretación del patrimonio industrial. In *Actas De Las VI Jornadas Internacionales Sobre Patrimonio Industrial*, Gijón, 21-24 Settembre 2005, pp. 1-22. Gijón: INCUNA Asociación de Arqueología Industrial y Asociación «Máximo Fuertes Acevedo».

Basile S. D. (2024). *Architetture e spazi urbani nella Buenos Aires di inizio Novecento. Le fotografie di Umberto De Micheli*. Cinisello Balsamo: Silvana Editoriale.

Bianchini C. (2023). Metamodellazione. In *Disegnare Idee Immagini*, n. 66, pp. 80-95.

Brandi C. (1977). *Teoria del Restauro*. Torino: Piccola biblioteca Einaudi

Calantropio A., Patrucco G., Sammartano G., & Teppati Losè, L. (2017). Sensori low-cost per il mapping speditivo di Beni Culturali. Primi test su di una steadycam low-cost. In *Bollettino della società italiana di fotogrammetria e topografia*, vol.3, pp. 1-10.

Caldarone A. (2021). *Heritage Building Information Modeling per i territori colpiti dal sisma*. Roma: DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile.

Chiavoni E., Trivi M. B., Porfiri F., & Rebecchini F. (2024). Teatro India a Roma, forma struttura e proporzione nel paesaggio industriale. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di) *Misura/Dismisura*:

Ideare Conoscere Narrare. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Padova, Venezia, 12-14 settembre 2024, pp. 1179-1196. Milano: Franco Angeli.

Canali F. (2024). Una 'fotografia' complessa della situazione architettonica industriale in Italia dalle pagine delle "Appendici" dell'"Enciclopedia Italiana" (1948-1993). In Canali F., Galati V.C. (a cura di) *Fuori dal triangolo. L'architettura industriale italiana negli anni del boom tra utilitas e venustas (1955-1975)*, vol. 12, pp. 11-24. Firenze: Firenze University Press.

Gómez-Ibáñez J. A. (1999). *The Future of Private Infrastructure: Lessons from the Nationalization of Electric Utilities in Latin America, 1943-1979*. Massachusetts: Harvard University.

<https://buenosaires.gob.ar/cultura/usina-del-arte/historia>: Historia de la Usina del Arte. Espacio donde las expresiones artísticas están al alcance de todos. Ícono arquitectónico de la Ciudad de Buenos Aires (ultimo accesso 10/10/2025).

La Razon (28 settembre 1916).

Liernur J., & Silvestri G. (1993). *El Umbral de la Metrópolis*, Buenos Aires: Sudamericana.

VERSO UN ECOSISTEMA DIGITALE PER LA MODELLAZIONE 3D NELL'AMBITO MUSEALE

Towards a digital ecosystem for 3D modeling in the
museum field

Authors

Michele Calvano¹, Alessandra Meschini¹, Jessica Romor¹, Marta Salvatore¹, Graziano Mario Valenti¹

¹Sapienza Università di Roma, Dipartimento Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

Email

michele.calvano@uniroma1.it
alessandra.meschini@uniroma1.it
jessica.romor@uniroma1.it
marta.salvatore@uniroma1.it
grazianomario.valenti@uniroma1.it

Keywords

DIGITAL COLLECTIONS
CULTURAL HERITAGE
KNOWLEDGE MODEL
HIGH RESOLUTION
BIM

Abstract

Il contributo si inquadra nella ricerca MUSE, che opera nell'ambito della gestione e della fruizione del patrimonio culturale attraverso la costruzione di un ecosistema digitale museale della Galleria Nazionale d'Arte Antica di Palazzo Barberini di Roma. La sperimentazione propone un sistema prototipale di modello conoscitivo, prodotto dalla integrazione, elaborazione e rappresentazione di modelli specializzati, descrittivi degli spazi e delle opere del museo, le cui informazioni sono rese disponibili ad una fruizione multimodale e multi-dispositivo, per mezzo di una piattaforma digitale appositamente progettata e sviluppata.

The contribution is part of the MUSE research project, which operates in the field of cultural heritage management and accessibility through the development of a digital museum ecosystem for the Galleria Nazionale d'Arte Antica at Palazzo Barberini in Rome. The experimentation presents a prototypical knowledge model system, generated through the integration, processing, and representation of specialized models that describe the museum's spaces and artworks. The resulting information is made accessible through multimodal and multi-device interaction, by means of a specifically designed and developed digital platform.

Introduzione

Il contributo descrive un'attività di ricerca in corso, che si inquadra nell'ambito del progetto di ricerca *MUSE - MUseum management, enhancement and accessibility: a Sustainable digital Ecosystem of interactive digital collections*, orientato alla definizione critico-operativa e alla validazione sperimentale di un protocollo metodologico e procedurale per lo sviluppo di un ecosistema interattivo di modelli digitali applicabile in ambito museale per la gestione e la valorizzazione del patrimonio.

Sperimentato presso la Galleria Nazionale d'Arte Antica di Palazzo Barberini a Roma, il progetto propone un modello conoscitivo per uso gestionale ed informativo, capace di superare la frammentazione tra organizzazione, spazi, collezioni, conservazione e comunicazione, integrando due livelli dimensionali fondamentali: il *contenitore*, ovvero l'architettura che ospita il museo e il *contenuto*, e cioè le opere esposte.

La convergenza tra la digitalizzazione delle opere e la modellazione immersiva degli spazi museali delinea la strategia per la costruzione di un ecosistema digitale concepito come piattaforma interattiva multilivello per la conservazione, la valorizzazione e la fruizione digitale, del patrimonio museale.

Le sperimentazioni presentate si configurano come percorsi conoscitivi, in cui diverse strategie di digitalizzazione vengono testate e validate, al fine di integrare approcci complementari per alimentare un modello di gestione e comunicazione innovativo e sostenibile.

Sperimentazioni

In linea con gli obiettivi del progetto, sono state avviate due sperimentazioni parallele, dedicate rispettivamente alla costruzione di modelli degli spazi del museo e alla digitalizzazione in alta risoluzione di una selezione di tele della collezione Barberini (Fig. 1).

La prima sperimentazione ha interessato tre spazi espositivi del palazzo con l'obiettivo di realizzare un modello digitale capace di supportare prevalentemente le attività di gestione, analisi e simulazione delle attività delle sale. Il modello discreto è stato prodotto mediante procedure di Structure from Motion (SfM), con cui è stata restituita la nuvola di punti densa utilizzata in questa sperimentazione per la costruzione del modello NURBS (Fig. 2). L'obiettivo era predisporre un supporto 3D inizialmente solo geometrico da integrare con nuove informazioni visuali provenienti dai panorami sferici. A questo step sperimentale seguirà l'inserimento dei panorami all'interno del modello BIM per un ulteriore arricchimento informativo del modello semantico del museo [Lo Turco et al., 2019].

L'informazione cromatica è stata strutturata su due livelli di dettaglio: globale, utilizzando panorami a bassa risoluzione (LR) e locale utilizzando panorami ad alta risoluzione (HR).

I panorami sferici a LR, acquisiti con dispositivi rapidi e a basso costo, hanno consentito una maggiore copertura degli ambienti selezionati in tempi ridotti, fornendo una visione immersiva d'insieme utile alla documentazione e alla navigazione del modello.

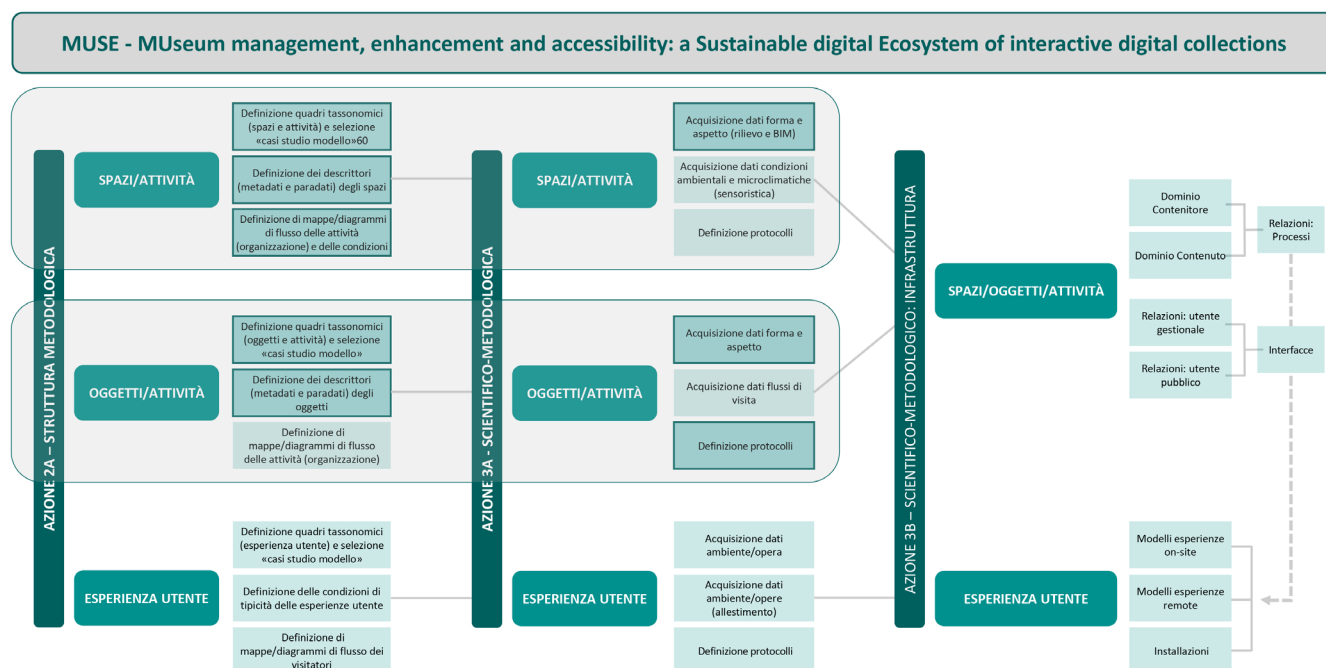


Fig. 1: Evidenziazione delle azioni di ricerca svolte all'interno dell'organigramma delle attività del progetto MUSE.

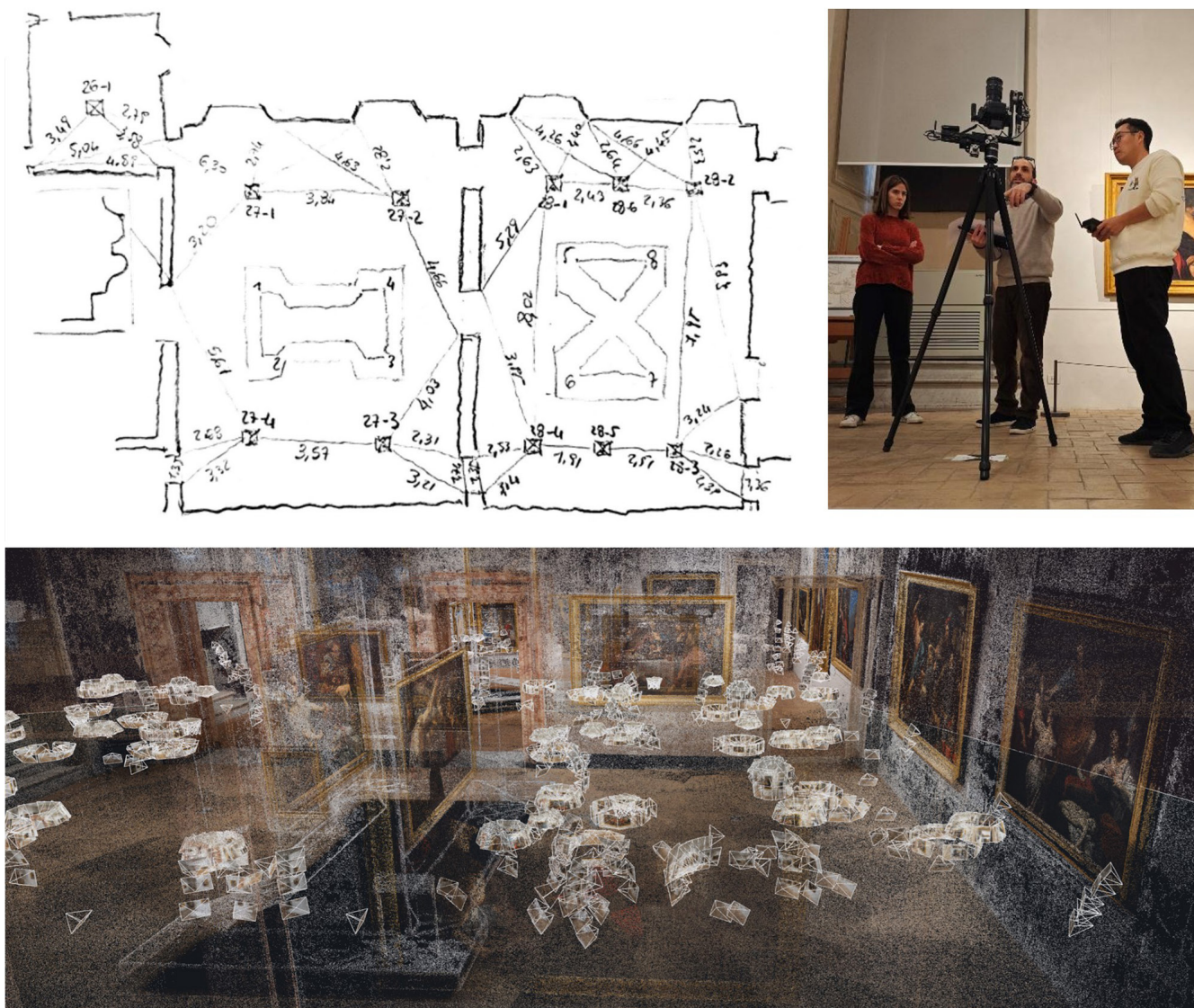


Fig. 2: Inquadramento topografico dei target utilizzati per il posizionamento dei panorami HR e nuvola di punti densa generata mediante processo di structure from motion.

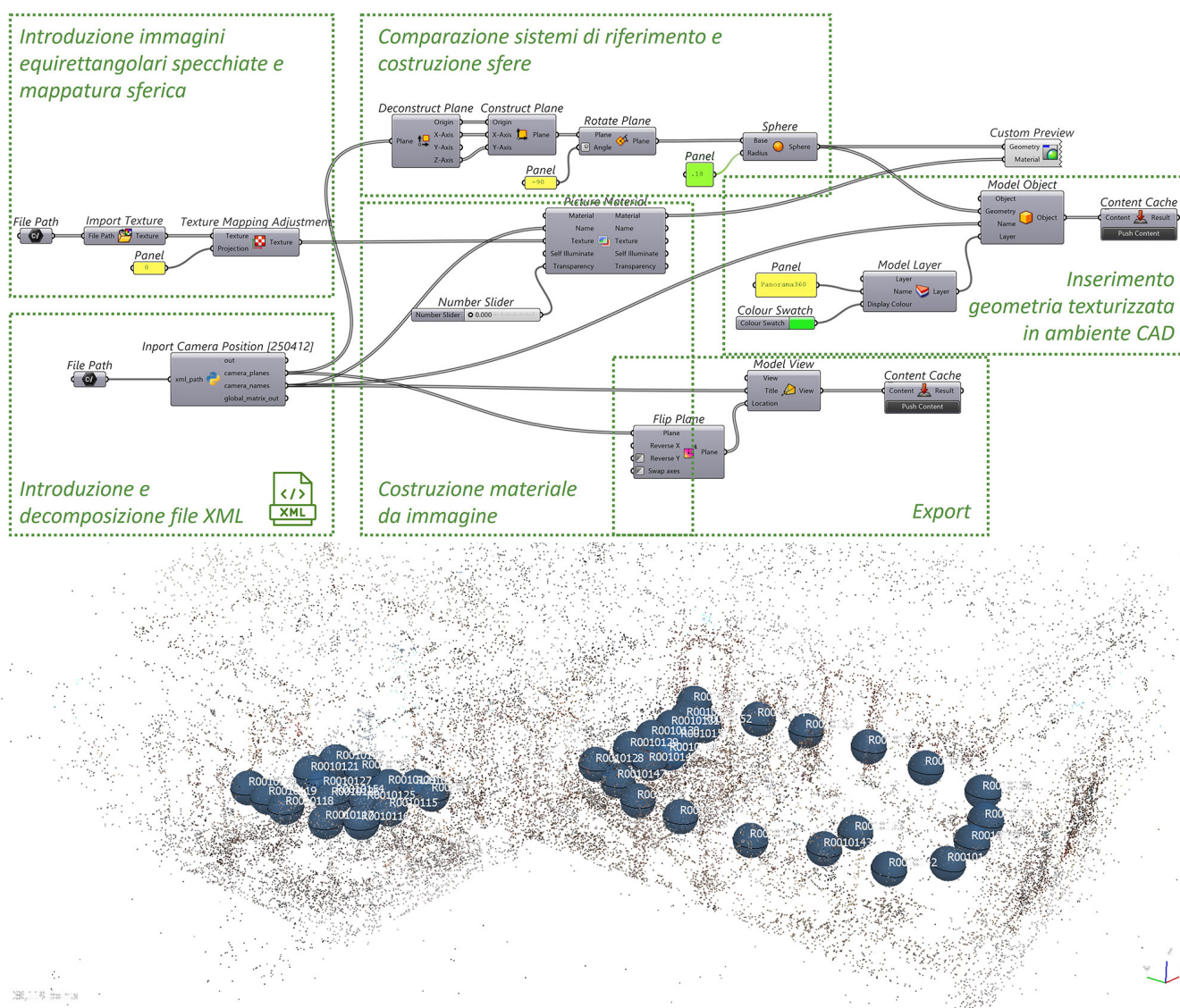
L'attività è stata implementata in Agisoft Metashape essendo un software in grado di applicare il processo di SfM su immagini equirettangolari. Nel software le immagini sono state etichettate come "sferiche", quindi allineate (Align Photos) per generare una nuvola sparsa e un orientamento relativo delle camere. Successivamente le informazioni delle camere (centri, assetti, matrici di trasformazione e parametri sensore) sono state esportate in XML e processate in Grasshopper (Visual Programming Language utilizzato nella sperimentazione) mediante una componente Python dedicata. Il Visual Programming Language (VPL) è stato utile per automatizzare il processo di ricostruzione in ambiente NURBS dei sistemi di riferimento di ogni camera. L'origine dei sistemi importati è stata utilizzata come centro di sfere orientate su cui sono state mappate le texture equirettangolari, restituendo una scena con panorami sferici pronta per

essere riferita ad un modello 3D (Fig. 3); in questa fase la programmazione visuale ha svolto un ruolo abilitante per la gestione massiva dei dati. I panorami ad alta risoluzione (HR) sono stati acquisiti da posizioni nodali predefinite e georeferenziate con stazione totale. Gli scatti sono stati eseguiti con fotocamera reflex montata su testa panoramica automatizzata, perfettamente livellata e programmata per descrivere più anelli orizzontali (p.es. 1-7-10-7-1) con sovrapposizione di circa il 30% tra gli scatti; la calibrazione del punto nodale dell'obiettivo ha assicurato il passaggio del centro di proiezione per il centro di rotazione, minimizzando la parallasse. Gli scatti prodotti in formato RAW sono stati editati per uniformare esposizione e nitidezza; l'immagine equirettangolare è il risultato di un processo di stitching automatico, ottenendo prodotti privi di artefatti e ad alta fedeltà cromatica. Le immagini generate sono state mappate su sfere NURBS ed allineate rispetto

al modello 3D. L'inserimento nel modello è avvenuto utilizzando Grasshopper, implementando un codice che utilizza diverse componenti di Kangaroo. Questo applicativo ha permesso di impostare vincoli di collinearità (centro sfera-punto su immagine-punto su modello), vincoli angolari (conservazione degli angoli piani tra rette di collinearità) e vincoli di lunghezza (raggio sfera costante); il solver di Kangaroo ha bilanciato i vincoli fino a minimizzare i residui, fornendo la rototraslazione ottimizzata della sfera texturizzata (Fig. 4); l'approccio supporta anche più di tre corrispondenze incrementando la robustezza della trasformazione. In entrambe i processi la pipeline VPL è stata concepita come set di componenti parametriche che mirano all'esportazione verso l'ambiente CAD ma anche BIM nel caso in cui la procedura venga implementata da altri applicativi (tipo Rhino.Inside) per la federazione con nuovi livelli informativi tipici di un modello semantico architettonico.

I panorami HR permettono una visualizzazione ad alta densità informativa, con cui valorizzare cromie, materiali e apparati decorativi, anticipando metodologicamente la scala di altissimo dettaglio richiesta dalla digitalizzazione delle opere. In sintesi, la catena SfM -> XML -> VPL rende il contenitore un modello scalare e verificabile: il rilievo geometrico fornisce la struttura NURBS; i panorami LR, gestiti in massa dalla programmazione visuale, costruiscono l'impianto immersivo globale; i panorami HR, allineati con vincoli simulati, introducono una lettura locale accurata. La programmazione visuale non agisce solo come automazione, ma come ambiente di prova in cui regole geometriche e requisiti percettivi sono tradotti in procedure controllate, ripetibili e documentate.

La seconda sperimentazione ha interessato la digitalizzazione di una selezione di tele, parte significativa delle opere del palazzo, con l'obiettivo di realizzare delle copie digitali in alta risoluzione per finalità



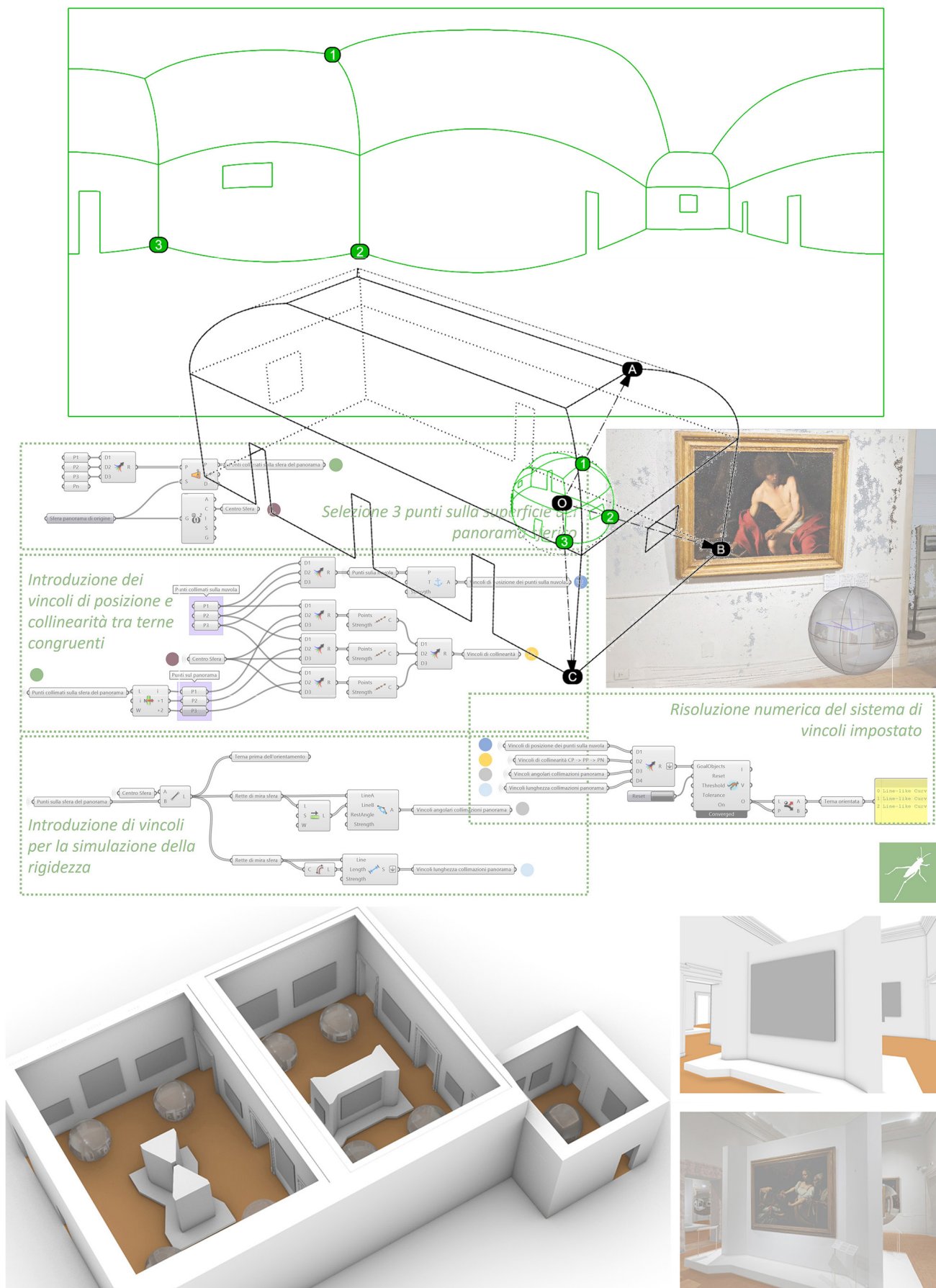


Fig. 4: Automatizzazione tramite VPL del processo geometrico di allineamento dei panorami HR.

documentali orientate prevalentemente alla conservazione e alla comunicazione delle opere.

Nell'ottica di un ecosistema digitale museale, l'idea della copia digitale si relaziona con quella più generale di 'digital twin'¹. Nati come modelli fisici in scala reale, i gemelli digitali si sono progressivamente evoluti negli ultimi vent'anni [Glaessgen, Stargel, 2012], arrivando ad includere, secondo la tassonomia di Ganter, finalità descrittive, diagnostiche, predittive e prescrittive [Agrawal et al., 2022]. Queste finalità spostano l'attenzione sui parametri di qualità che concorrono alla misura dell'affidabilità della copia digitale, che costituisce la base documentale dell'ecosistema.

Nell'ottica di una definizione condivisa degli standard qualitativi delle copie digitali, il quadro normativo italiano vede attivo nel quinquennio 2022-2026 il Piano nazionale di Digitalizzazione del Patrimonio culturale (PND), redatto dall'Istituto Centrale per la Digitalizzazione del Patrimonio culturale – Digital Library del MiC, in collaborazione con diverse istituzioni culturali [MiC-ICDP, 2022a]. Il piano si rivolge a musei, archivi e biblioteche come strumento metodologico per la digitalizzazione e la transizione digitale. Esso integra visione, strategia e fornisce linee guida [MiC-ICDP, 2022b] che definiscono obiettivi, attori, tipologie di digitalizzazione, parametri di qualità, formati e metadatazione, fornendo una base tecnica per la progettazione e la gestione dei processi di digitalizzazione. Le linee guida in particolare si concentrano su due aspetti: la definizione di parametri di qualità dei modelli e la strutturazione del relativo sistema di metadatazione, indispensabile per legare record catalografico e risorsa digitale. Indicative e non prescrittive, queste sono state ulteriormente sviluppate nelle recenti Linee guida per la digitalizzazione 3D dei Beni storico-artistici e museali [MiC-ICDP, 2024], di diretto interesse del progetto MUSE che, animate principi di neutralità, trasparenza e completezza, approfondiscono metodologia, classificazioni qualitative, fasi di produzione dei modelli e dataset di consegna.

Sviluppato nel rispetto delle linee guida del PND, il progetto di digitalizzazione delle tele mira a produrre copie digitali in alta definizione a risoluzione controllata, con un valore documentario tale da poter essere interrogabili al pari di una fonte primaria. Nel caso della digitalizzazione delle tele il dato cromatico risulta determinante. Si è operato quindi con processi di acquisizione fotogrammetrica ripetibili e misurabili finalizzati a massimizzare la qualità della texture con l'obiettivo di realizzare Modelli Master (MM) ad alta risoluzione dai quali ricavare Modelli

Derivati (MD), alleggeriti nella geometria per diversi scenari di utilizzo.

La qualità dei Modelli Master fotogrammetrici è stata misurata in termini di risoluzione media di acquisizione, espressa in mm/px dalla relazione $(H \times p)/f$ (H = distanza di scatto; p = pixel size; f = focale), di risoluzione geometrica del modello, espressa in mm dalla lunghezza media dei poligoni della mesh, e di risoluzione cromatica della texture, espressa in mm/texel [MiC-ICDP, 2024] (Fig. 5). Per massimizzare la qualità cromatica della ripresa il progetto ha utilizzato un *texel size* pari alla risoluzione media di acquisizione, permettendo di prevedere la qualità finale della texture in fase di progetto di ripresa.

Nel caso delle tele movimentabili, come la *Donna con turbante* (Ginevra Cantofoli, 1650 ca.), la fotogrammetria digitale si è rivelata la strategia più efficace per la costruzione della copia (Fig. 6). Non tutte le tele esposte risultano movimentabili, specie se di grandi dimensioni, come il dipinto della *Maddalena penitente* di Guido Reni (1631-32) (Fig. 7). L'impossibilità di una digitalizzazione integrale ha favorito l'utilizzo di immagini rettilineari Gigapixel dotate di valenza metrica riferibili alla sola superficie della tela [Cabezas et al., 2021]. Acquisite tramite riprese panoramiche e caratterizzate da parametri di qualità esprimibili in termini di risoluzione media di acquisizione [Baglioni et al., 2014], questi modelli bidimensionali supportano la copia Master alla maniera di 'Modelli Accessori', risultando ottimali per esplorazioni immersive agili finalizzate alla conservazione e alla comunicazione dell'opera.

Piattaforma di gestione e comunicazione

Fin dalla fase progettuale della ricerca si è scelto di sviluppare una piattaforma digitale collaborativa, accessibile in rete, concepita come ambiente integrato per la presentazione, l'interazione e l'analisi di un insieme eterogeneo di modelli specializzati tra cui le tipologie qui illustrate sono esempi significativi. La piattaforma si configura come strumento capace non solo di aggregare le fonti e le elaborazioni ad esse collegate in forma visiva, ma anche di consentire indagini dinamiche e approfondite.

Le tipologie di modelli contemplati, oltre a quelli qui presentati, sono ampie e in costante aggiornamento. Vi rientrano, da un lato, le fonti digitali più diffuse e consolidate, come i documenti testuali e i database relazionali, rappresentabili sia nella loro dimensione alfanumerica originaria sia attraverso visualizzazioni grafiche e geografiche; dall'altro, immagini in diversi formati – piani, piramidali o sferici – che possono essere annotate, modificate e sottoposte a elaborazioni cromatiche standard o personalizzate. A ciò si aggiungono modelli tridimensionali,

¹ La prima concettualizzazione teorica di Digital Twin risale al 2003, con Michael Grieves, per poi ottenere una definizione formale nel 2012 grazie a Edward H. Glaessgen e David S. Stargel, due ingegneri che lavorano rispettivamente per NASA e U.S. Air Force.

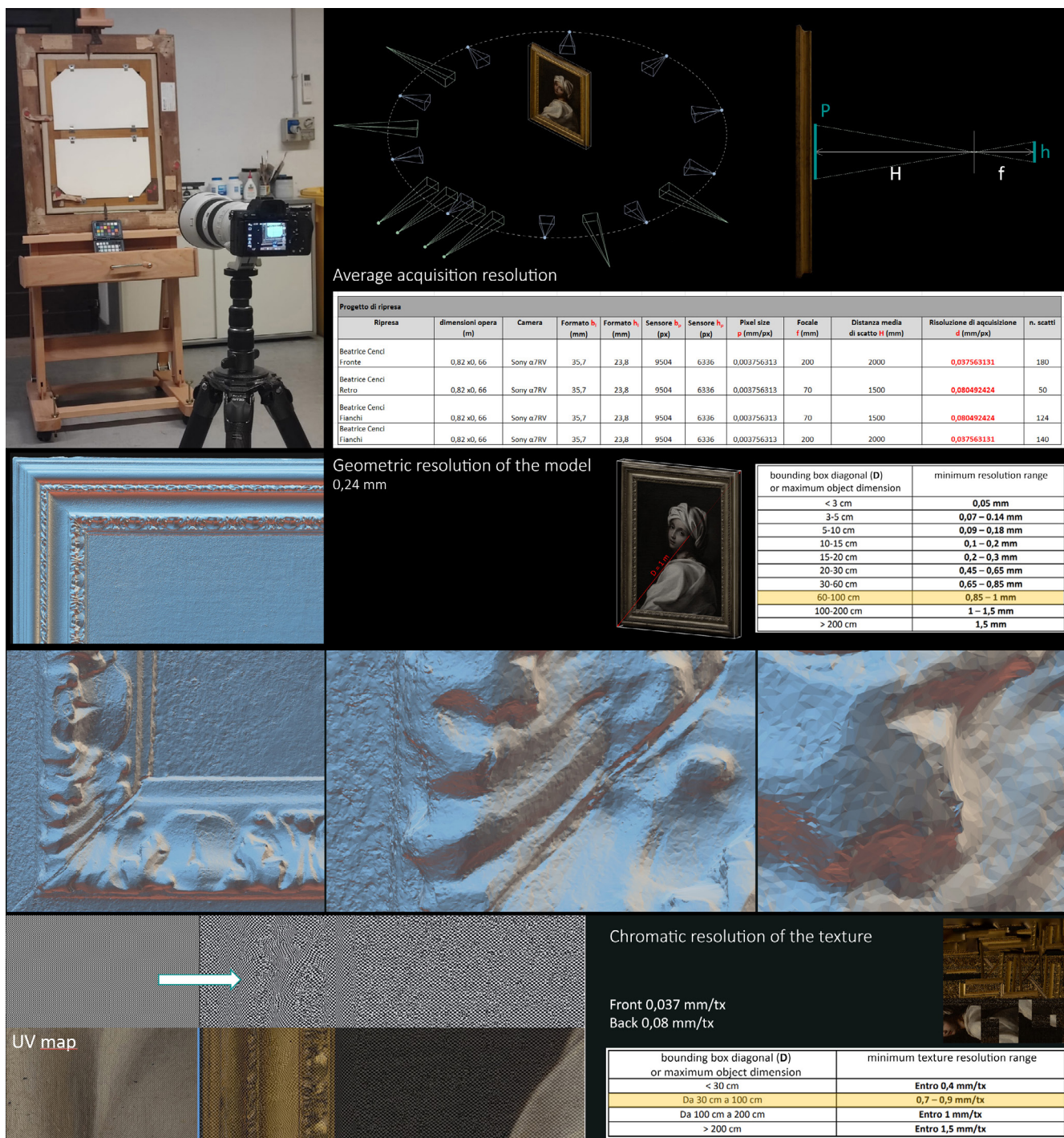


Fig. 5: Parametri di qualità del modello fotogrammetrico della copia digitale della *Donna con turbante*.

statici e dinamici, realizzati con finalità esplicative e comunicative diversificate.

L'individuazione, lo studio e l'integrazione delle informazioni richiedono oggi la costruzione di modelli che possano essere definiti, al tempo stesso, di conoscenza e conoscitivi. Essi sono di conoscenza quando selezionano, organizzano e rendono esplicite le relazioni interne a un dominio informativo; sono conoscitivi quando favoriscono processi di interazione, sperimentazione e sintesi da parte dell'utente. Interrogazione, rappresentazione, simulazione

e comparazione sono solo alcune delle operazioni che qualificano tali modelli, i quali trovano nelle tecnologie digitali il supporto più adeguato per integrare e comunicare i contenuti in spazi virtuali o referenziabili nel reale.

Ne deriva un ambiente operativo a medialità avanzata e aumentata, capace di restituire tanto la dimensione materiale quanto quella immateriale dei beni culturali: dalle pratiche ai saperi, dalle tradizioni ai contenuti documentali. In questo contesto, il concetto di "modello conoscitivo" o "modello di modelli"

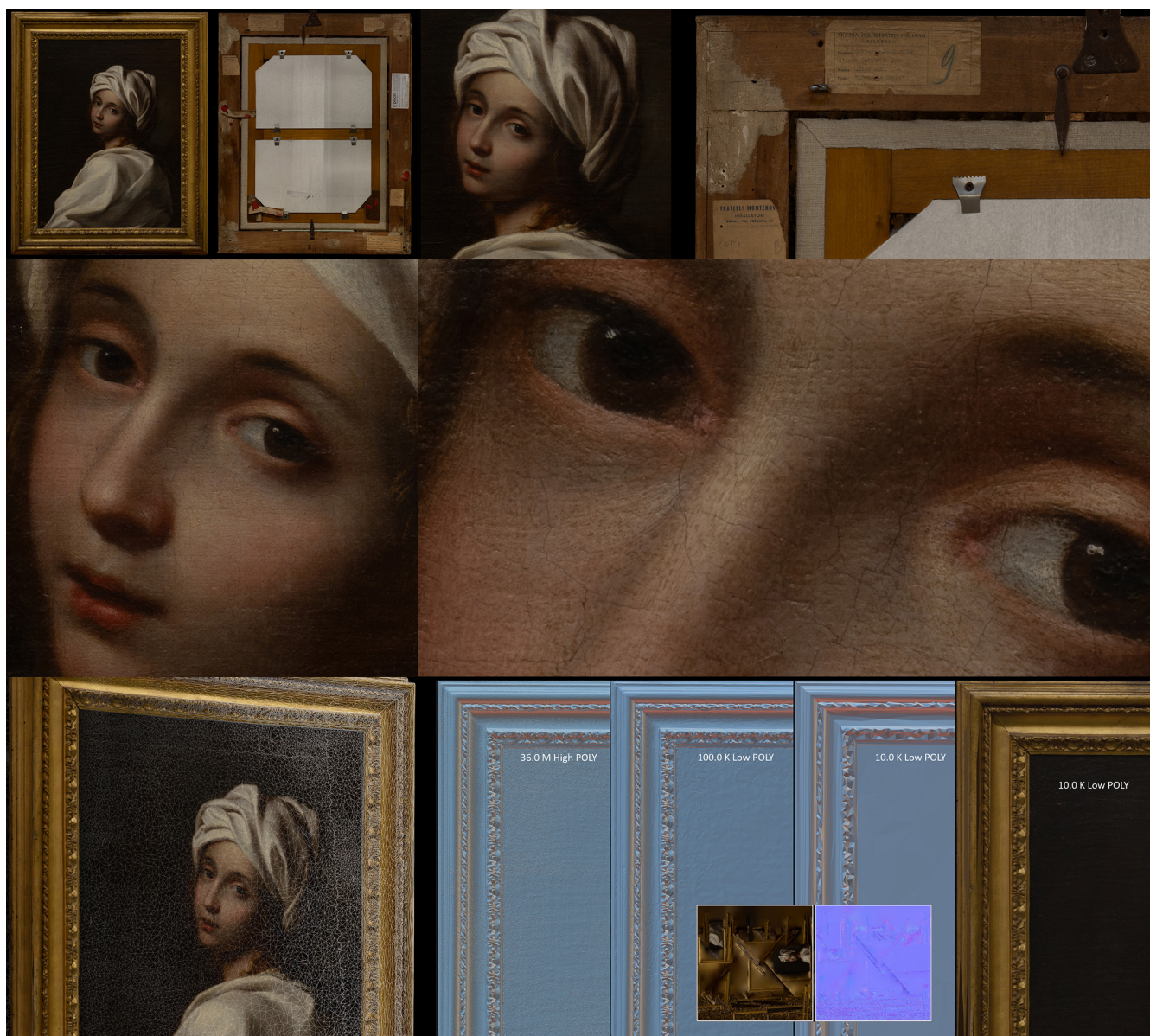


Fig. 6: Modello Master e modelli derivati della copia digitale della *Donna con turbante*.

assume particolare rilevanza: una rappresentazione capace di descrivere e collegare una pluralità di descrizioni, generando combinazioni di sintesi che sperimentano nuove forme di conoscenza e affinano la comprensione dei fenomeni.

Conclusioni

Le sperimentazioni presentate sono parte di un processo di digitalizzazione finalizzato alla definizione di un ecosistema digitale museale concepito come un sistema strutturato di modelli interoperabili, progettati per rispondere alle diverse esigenze di gestione, conservazione e fruizione del patrimonio.

L'accostamento di due percorsi sperimentali complementari – la modellazione degli spazi e la digitalizzazione ad alta risoluzione delle opere

– evidenzia la necessità di protocolli specifici per ciascuna tipologia di bene in relazione degli scenari di utilizzo della copia digitale, garantendo coerenza spaziale e semantica tra contenitore e contenuto.

In questa prospettiva, la ricerca esplora nuovi scenari di gestione e comunicazione culturale, trasformando il museo in un ecosistema digitale capace di coniugare attività operative, fruizione remota e trasmissione delle conoscenze.



Fig. 7: Parametri di qualità dell'immagine rettilineare della Maddalena penitente.

Riferimenti bibliografici

Agrawal, A., Fischer, M., & Singh, V. (2022). Digital twin: From concept to practice. *Journal of Management in Engineering*, 38(3), 04022018. Reston: American Society of Civil Engineers.

Baglioni, L., Migliari, R., & Salvatore, M. (2014). Calcolo della risoluzione delle riprese panoramiche delle quadrature piane. In *Prospettive architettoniche. Conservazione digitale, divulgazione e studio* (Vol. 1, pp. 809–816). Roma: Sapienza Università Editrice.

Cabazos-Bernal, P. M., Rodriguez-Navarro, P., & Gil-Piqueras, T. (2021). Documenting paintings with gigapixel photography. *Journal of Imaging*, 7(8), 156. Basel: MDPI.

Glaessgen, E. H., & Stargel, D. S. (2012). The digital twin paradigm for future NASA and U.S. Air Force vehicles. In *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference* (pp. 1–14). Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics.

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

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-433-2019>

Ministero della Cultura, Istituto Centrale per la Digitalizzazione del Patrimonio culturale (ICDP) - Digital Library. (2022). *Linee guida per la digitalizzazione del patrimonio culturale, versione 1.0 – giugno 2022*.

<https://docs.italia.it/italia/icdp/icdp-pnd-digitalizzazione-docs/it/v1.0-giugno-2022/index.html>

Ministero della Cultura, Istituto Centrale per la Digitalizzazione del Patrimonio culturale (ICDP) - Digital Library. (2022–2023). *Piano Nazionale di Digitalizzazione del patrimonio culturale, versione 1.1*.

https://digitallibrary.cultura.gov.it/wp-content/uploads/2023/04/PND_V1_1_2023_v2.pdf

Ministero della Cultura, Istituto Centrale per la Digitalizzazione del Patrimonio culturale (ICDP) - Digital Library (a cura di). (2024). *Linee guida per la digitalizzazione 3D beni storico-artistici e museali – appendice tecnica delle Linee guida (Allegato 1) del PND*.

<https://partecipa.gov.it/processes/Linee-Guida-Digitalizzazione-3D>

MUSE. UN ECOSISTEMA MUSEALE PER LA “MISURA” DELL’ESPERIENZA UTENTE

MUSE. A Museum Ecosystem for “Measuring” the User Experience

Authors

Flavia Camagni¹, Andrea Casale¹, Elena Ippoliti¹, Luca J. Senatore¹, Noemi Tomasella¹

¹ Sapienza Università di Roma, Dipartimento Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

Email

flavia.camagni@uniroma1.it
andrea.casale@uniroma1.it
elena.ippoliti@uniroma1.it
luca.senatore@uniroma1.it
noemi.tomasella@uniroma1.it

Keywords

USER EXPERIENCE
NEURAL NETWORK
3D MODELING
PHOTOGRAMMETRY
PALAZZO BARBERINI

Abstract

Il paper presenta due sperimentazioni finalizzate allo studio dei comportamenti dei visitatori nello spazio museale, sia reale che digitale. La prima analizza i movimenti nello spazio fisico attraverso tracciamenti non invasivi; la seconda rileva lo sguardo e le interazioni in un clone digitale immersivo. Entrambe le sperimentazioni, condotte a Palazzo Barberini, rientrano nel progetto MUSE e mirano a raccogliere dati strutturati per ottimizzare gestione, allestimenti e strategie di valorizzazione museale.

The paper presents two experiments aimed at studying visitor behavior within the museum space, both physical and digital. The first investigates movement in the real environment through non-invasive tracking systems; the second records gaze and interactions within an immersive digital twin. Both experiments, conducted at Palazzo Barberini, are part of the MUSE project and aim to collect structured data to optimize museum management, exhibition design, and enhancement strategies.

Introduzione

Nel contesto delle tecnologie *3D Modeling* e *Digital Twin* si inserisce il progetto di ricerca "MUSE - Museum management, enhancement and accessibility: a Sustainable digital Ecosystem of interactive digital collections"¹ che nello specifico affronta l'ambito della crescente necessità di strumenti avanzati per la gestione e la valorizzazione del patrimonio museale². L'obiettivo generale della ricerca è la definizione critico-operativa (seguita da validazione sperimentale) di un protocollo procedurale e metodologico per lo sviluppo di un ecosistema di modelli digitali ad alta interazione dedicati all'ottimizzazione delle diverse attività e dei processi prevalenti e tipici che caratterizzano l'organizzazione di un museo. Sintetizzando molto, tali attività e processi riguardano la conservazione e la gestione degli oggetti delle collezioni museali e degli spazi in cui sono ospitati con un'unica finalità principale: la comunicazione al pubblico - dalla progettazione espositiva alle azioni di diversificazione dell'offerta culturale e di personalizzazione dell'esperienza d'uso (Fig. 1).

Nel quadro delle diverse azioni e finalizzazioni in cui è articolato l'ecosistema museale del progetto MUSE, il presente contributo si sofferma sulla descrizione di due diverse sperimentazioni il cui focus principale è quello di affinare il modello di conoscenza dell'esperienza utente durante la visita al Museo per raccogliere insieme di dati strutturati sui comportamenti dei fruitori nelle relazioni con le opere e con gli spazi museali. A tale scopo è stato prescelto il caso studio di Palazzo Barberini a Roma³, sede del-

la Galleria Nazionale di Arte Antica, in quanto emblematico per la varietà e complessità degli spazi, per la qualità delle opere e per la possibilità di mettere alla prova il sistema in un contesto museale di alto profilo, ma con vincoli architettonici e di tutela reali.

Seppur le due sperimentazioni siano strettamente integrate, queste adottano approcci diversi. In particolare, la prima sperimentazione è ideata per essere condotta nello spazio reale di Palazzo Barberini ed è finalizzata alla definizione di una piattaforma tecnologica a basso costo per indagare l'esperienza degli utenti sulla base delle misure spazio-temporali del tracciamento dei flussi dei visitatori, ovvero dei movimenti di questi. La seconda sperimentazione è invece condotta ricorrendo ad un modello digitale, gemello degli spazi museali, ed è finalizzata alla definizione di una procedura per indagare l'esperienza degli utenti durante l'esplorazione immersiva per valutare l'apprezzamento dell'utente delle opere esposte.

Le sperimentazioni hanno dunque come obiettivo specifico quello di "misurare" le esperienze dei visitatori e in particolare i tracciati spazio-temporali dei movimenti nelle sale museali e dello sguardo verso le opere esposte. Lo scopo è quello di ricavare dati strutturati sui comportamenti che potranno essere utili all'istituzione museale per diversi scopi, tra cui ad esempio la gestione dei flussi, l'analisi dei percorsi negli spazi museali, l'apprezzamento delle singole opere ecc., e sulla base dei quali ipotizzare miglioramenti da introdurre nelle esposizioni in modo da favorire esperienze di visita consapevoli e partecipate.

Stato dell'arte

La letteratura di riferimento è davvero ampia così come numerosi sono i progetti nazionali e internazionali sviluppati con l'obiettivo di definire *workflow* per la digitalizzazione nell'ambito del *Cultural Heritage*, seppur molti di questi riguardino il miglioramento della gestione del patrimonio costruito - ricorrendo alla modellazione parametrica e informativa applicata alle nuove costruzioni (BIM) e agli edifici storici (HBIM) o sfruttando il potenziale del *Digital Twin* [Massafra, Predari & Gulli, 2022; Spanò et al., 2023].

La letteratura scientifica sui Musei Virtuali (ViM) è invece meno sistematica e ancor meno esplorata è quella sui *Digital Twins* (DT) riferita all'ambito di ricerca nel quale si inseriscono le sperimentazioni qui proposte. Una revisione critica e una panoramica su questi argomenti si trovano nello studio di Luther et al. [2023] dove, in particolare, sono classificate le diverse varianti di ViM e DT ed esaminate diverse tecnologie abilitanti e apparecchiature di sensori con i loro requisiti specifici e complessità, vantaggi e svantaggi in relazione tra loro in tutte le fasi del ciclo di vita di un DT.

1_ La ricerca, responsabile prof.ssa Elena Ippoliti, è finanziata da Sapienza Università di Roma nell'ambito dei progetti grandi di Ateneo anno 2023. Tra i componenti di Sapienza del gruppo di ricerca vi sono docenti e assegnisti dei Dipartimenti di Storia, Disegno e Restauro e di Informatica.

2_ Il progetto di ricerca ha avuto l'adesione di diversi partner esterni che per competenze ed esperienze hanno integrato quelle del personale Sapienza, conferendo al progetto un *background* culturale di alto profilo. In tale quadro è stata fin da subito essenziale quella dell'arch. Dario Aureli, Funzionario MIC e Responsabile dell'Ufficio Tecnico delle Gallerie Nazionali di Arte Antica Palazzo Barberini e Galleria Corsini. Inoltre, nello specifico della sperimentazione condotta nel clone digitale immersivo, la ricerca si è avvalsa dell'adesione scientifica e fattiva dell'Istituto di Scienze per il Patrimonio Culturale (ISPC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, in particolare dei ricercatori Bruno Fanini e Sofia Menconero, potendo così usufruire del *framework open-source* ATON (<https://aton.ispc.cnr.it/>), e di Interlumo (<https://interlumo.ispc.cnr.it/>), pilot dell'infrastruttura E-RIHS entrambi sviluppati dal DHILab del CNR-ISPC.

3_ Le elaborazioni grafiche sono state realizzate nell'ambito della Convenzione per la progettazione e prototipazione di un sistema di simulazione digitale HTWIN, tra le Gallerie Nazionali di Arte Antica, il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'architettura della Sapienza e il Dipartimento di Architettura dell'università di Roma Tre (Prot. n. 0001631 - 2/1/2023).

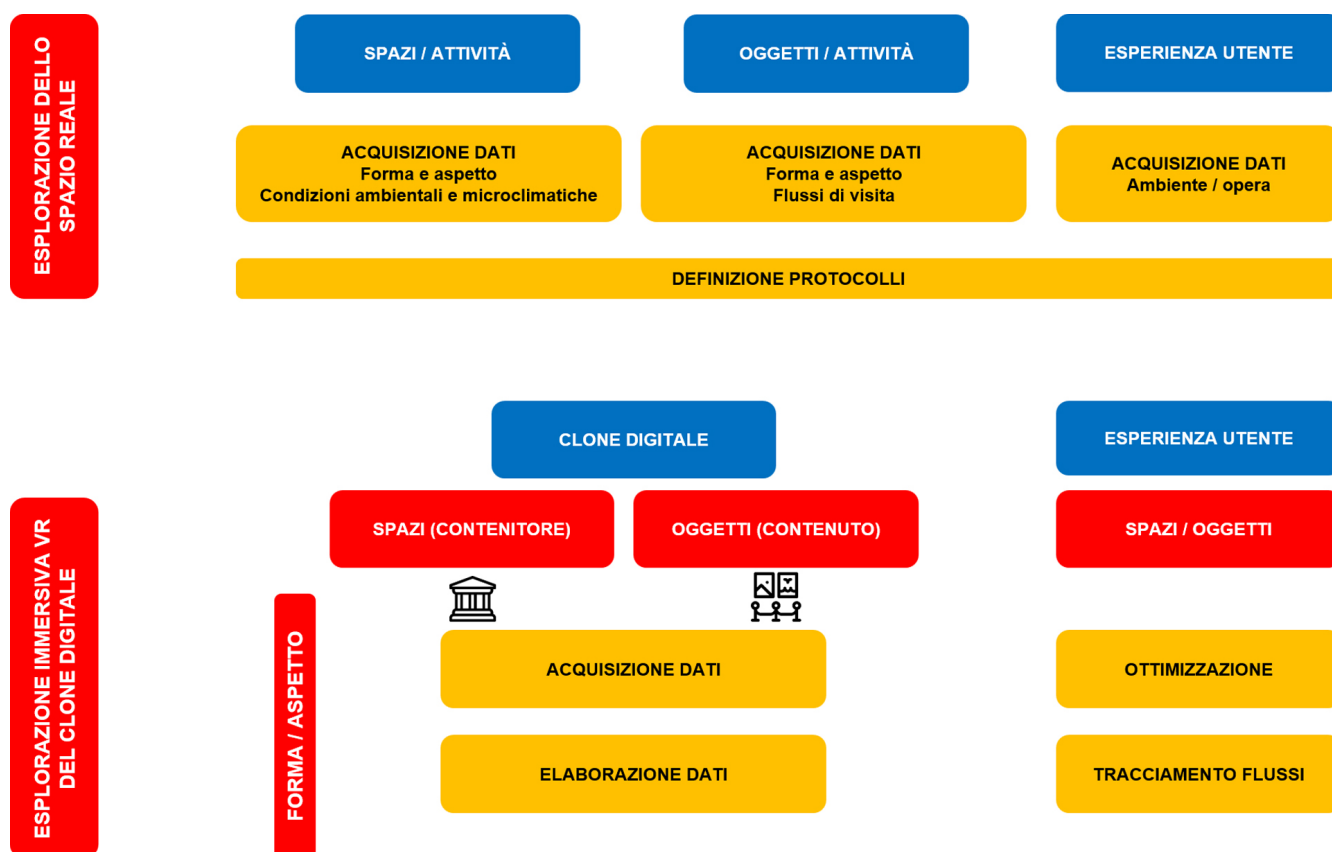


Fig. 1: Schema esplicativo delle fasi della ricerca.

Un documento chiave di riferimento è quello fatto predisporre nel 2022 dalla Commissione Europea in vista dei bandi del WP del Cluster 2 di Horizon Europe [Brunet et. al, 2022]. Nel quadro del dominio dei Beni Culturali, tale documento fissa i requisiti essenziali degli oggetti/cloni digitali e le linee guida per il piano di attuazione del cloud europeo nell'ottica della definizione di un'unica infrastruttura su larga scala, collaborativa e transdisciplinare.

Relativamente alle esperienze utente in campo museale, tra gli articoli scientifici che descrivono le metodologie prevalenti in letteratura sono quelli che includono metodi etnografici qualitativi [Falk, 2003; Falk et al., 2004] o approcci integrati che combinano l'etnografia tradizionale con dati quantitativi [Bonacchi et al., 2018; Malik et al., 2023].

Di interesse sono anche le esperienze proposte in Angeloni et al. [2021] e Clini et al. [2023]. Nel primo è descritta la sperimentazione di un sistema, a supporto della gestione museale e per l'individuazione di azioni di miglioramento dell'offerta culturale, basato su una rete di sensori supportata da una piattaforma web per l'acquisizione dei dati attraverso infrastrutture di intelligenza ambientale e rilevamento dello spazio finalizzati alla misura e quantificazione del comportamento dei visitatori negli spazi museali. Nel secondo la sperimentazione si confronta con le specificità di una mostra temporanea introducendo le questioni

dell'efficacia delle soluzioni proposte attraverso dei test sulla *User Experience*.

Infine, relativamente alla sensoristica finalizzata all'indagine del comportamento degli utenti all'interno di edifici storici, la letteratura evidenzia come alcune esperienze di questo tipo abbiano fatto uso di sensori di bassa accuratezza (R-FID) [Centorrino et al., 2021; Wang, et al., 2024], o sensori di prossimità di varia tipologia in grado di fornire informazioni dettagliate solo in prossimità dello strumento di rilevamento [Zhuang et al., 2016; Onofri, Corbetta, 2021; Spachos, Plataniotis, 2020; Yoshimura et al., 2016].

La prima sperimentazione: il rilievo del movimento nello spazio reale

La prima sperimentazione, come detto, mira a garantire un'elevata accuratezza metrico-geometrica nella localizzazione dei visitatori e a monitorare la qualità dei loro movimenti nello spazio museale, con l'obiettivo di ottenere dati affidabili, in tempo tempo reale e nel rispetto della *privacy*. Il flusso di lavoro si è articolato in relazione a tre questioni principali: i) l'infrastruttura per la comunicazione dei dati, ii) l'infrastruttura per la misura del movimento, iii) la costruzione di un protocollo di gestione dei risultati implementabile nel modello 3D informato.

L'infrastruttura per la comunicazione dei dati

In progetti simili si sono sperimentate tecniche di tracciamento basate su RFID, *beacon Bluetooth* o sensori di prossimità, dimostrando però che questi sistemi forniscono dati per lo più limitati ad un'area prossima al sensore. Per i caratteri del caso studio, l'approccio di MUSE ha invece utilizzato una sensoristica non invasiva basata su videocamere RGB abbinate ad un sistema di elaborazione a basso costo tramite dispositivi *Raspberry Pi* e integrati ad algoritmi avanzati di computer vision, in grado di restituire coordinate tridimensionali e tracciati completi.

L'infrastruttura per la comunicazione dei dati è stata sviluppata attraverso un protocollo di *Data Offloading* per reti di sensori implementando un sistema *multi-hop* su rete *mesh* locale (Fig. 2) in grado di garantire privacy e resilienza. La rete prototipale comprende quattro nodi *Raspberry Pi* che raccolgono i dati e comunicano tra loro tramite tecnologia *wireless* locale, collegati dinamicamente secondo una topologia di rete non gerarchica e cooperativa in grado di 'instradare' in modo efficiente i dati. Questa architettura è particolarmente adatta al contesto museale, in quanto consente di riorganizzare dinamicamente i percorsi di comunicazione in caso di malfunzionamento o di aggiungere ulteriori nodi.

Ognuno dei quattro nodi dell'architettura della rete *mesh* è dedicato a svolgere una specifica funzione: il primo (Cam1) acquisisce i video dei movimenti visitatori, il secondo (Lab1) elabora localmente i flussi (conteggio e metriche di movimento), il terzo (Node1) entra in funzione qualora il collegamento diretto tra il secondo (Lab 1) e il quarto (Raspdata) sia debole, il quarto (Raspdata), infine, riceve i dati e li trasmette, tramite *Ethernet*, al centro di raccolta.

Il protocollo di *routing*, infine, è gestito con B.A.T.M.A.N. Advanced (Better Approach To Mobile Adhoc Networking) in grado di selezionare dinamicamente i percorsi ottimali tra i nodi [Neumann et al., 2008] (Fig. 3). I primi test effettuati in ambienti domestici e universitari hanno mostrato

trasmissione stabile, mentre nel museo le condizioni architettoniche hanno ostacolato il segnale, evidenziando la necessità di ottimizzare la disposizione dei nodi e valutare protocolli alternativi.

L'infrastruttura per la misura del movimento

Il sistema di tracciamento si basa su una pipeline composta da tre fasi: acquisizione video, ricostruzione delle traiettorie 3D, visualizzazione dei dati. Le videocamere operano in modo passivo, senza sensori attivi o tecnologie invasive, rendendo la soluzione adatta a contesti museali.

Per il riconoscimento umano viene utilizzato *YOLOv11*, modello avanzato di object detection in tempo reale, che assegna un identificativo anonimo a ciascun visitatore (Fig. 4). Alla rilevazione segue la stima della profondità tramite *DepthAnything V2*, capace di generare mappe 3D precise anche in scenari complessi. I dati (ID, *timestamp*, coordinate x,y,z) vengono salvati in formato CSV e usati per ricostruire le traiettorie individuali. Tecniche come filtri di Kalman migliorano la robustezza del tracciamento in presenza di occlusioni o movimenti rapidi.

Le traiettorie così ottenute consentono analisi dettagliate: permanenza in aree specifiche, frequenza di attraversamento, densità aggregata e profilazioni comportamentali. L'*output* finale consiste in mappe di calore che evidenziano le zone più o meno visitate, offrendo un *feedback* immediato sull'efficacia dell'allestimento e sull'attrattività delle opere.

Il sistema presenta un'architettura modulare e scalabile: i componenti (*detection*, *tracking*, visualizzazione) possono essere aggiornati indipendentemente e applicati a più ambienti. L'elaborazione può avvenire localmente o in remoto, con possibilità di parallelizzazione su GPU. Dal punto di vista normativo, non vengono conservate immagini né dati biometrici: tutte le informazioni sono anonimizzate e utilizzate esclusivamente a fini analitici.

Verso la costruzione del protocollo di gestione

Il risultato del processo di acquisizione ed elaborazione è in grado di restituire il 'rilievo del

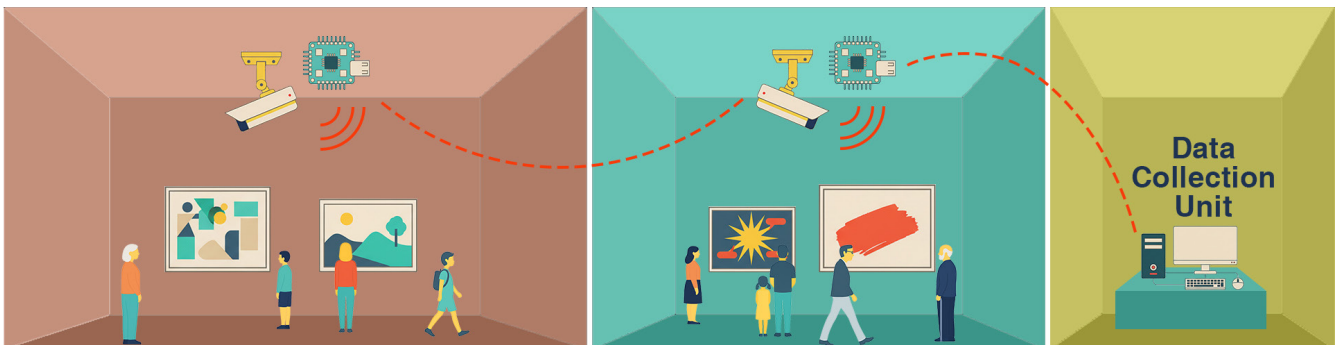


Fig. 2: Struttura del protocollo *multi-hop* di *Data Offloading* per Rete di Sensori.

B.A.T.M.A.N. Protocol for Wireless Sensor Networks (Alternative Path Selection)

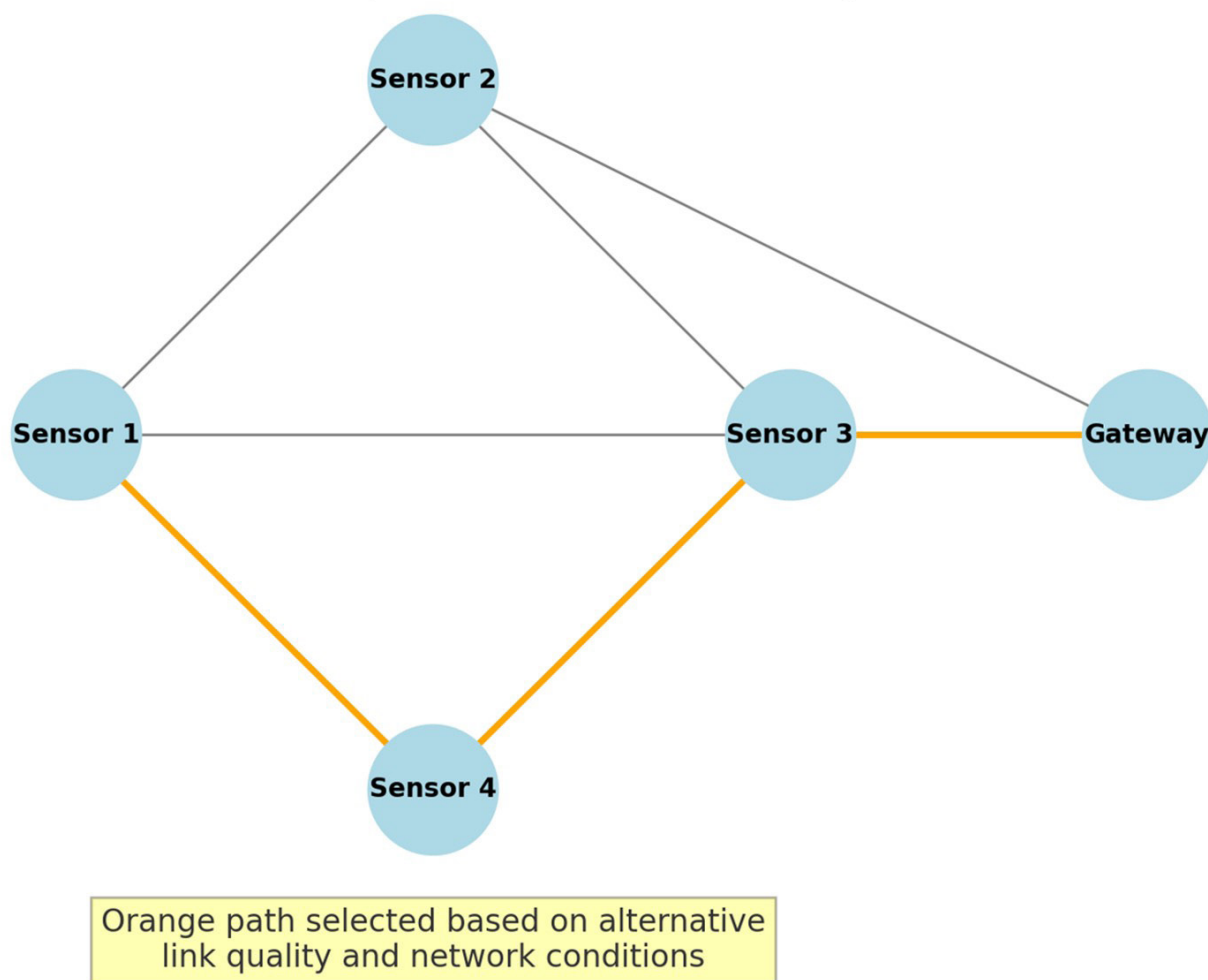


Fig. 3: Schema di funzionamento del B.A.T.M.A.N Protocol.

movimento utente' in una tabella con l'identificativo dell'utente e le coordinate spaziali associate alle informazioni temporali. Il sistema è stato tarato per restituire un dato di posizione per ciascun utente individuato nell'unità di tempo selezionata che allo stato attuale è pari ad un'immagine/secondo.

Sfruttando il VPL, I dati ottenuti sono stati implementati al modello tridimensionale (modello informato) e si è così proceduto alle prime analisi sulle traiettorie nonché, aggregando i dati e filtrandoli opportunamente, sono stati individuati, attraverso mappe in falsi colori, valori di permanenza dell'utenza in prossimità delle opere (Fig. 5). In particolare sono proprio quest'ultima tipologia di informazioni aggregate a permettere di comprendere come gli utenti si muovono nello spazio e, soprattutto, di valutare l'interesse dimostrato dal pubblico per determinate opere, ovvero il "potere attrattivo" di queste, parametro fondamentale nell'orientare scelte di riallestimento, strategie di comunicazione e gestione dei flussi.

La seconda sperimentazione: il rilievo dello sguardo nello spazio virtuale

L'obiettivo della seconda sperimentazione è stato quello di osservare, misurare e analizzare l'esperienza di fruizione in un contesto controllato, riproducendo digitalmente alcune sale del museo e permettendo ai visitatori di esplorarle in modalità immersiva. Questo ambiente, liberato dai vincoli fisici e temporali, diventa un laboratorio sperimentale dove ogni interazione è tracciabile e ogni variabile può essere modificata. Il flusso di lavoro ha pertanto previsto i) l'elaborazione del clone digitale di due sale contigue del Palazzo e delle opere in esse esposte, ii) l'ottimizzazione per la navigazione fluida tramite web, iii) le misure dell'esperienza utente nello spazio digitale nelle relazioni tra spazi e opere.

L'elaborazione del clone digitale

Per l'elaborazione del clone digitale delle sale, è stata condotta una campagna fotogrammetrica su



Fig. 4: Acquisizione video e prima fase di riconoscimento delle persone (in alto). Applicazione dell'algoritmo per la definizione delle coordinate dimensionali (in basso).

due ambienti di Palazzo Barberini, scelti per diversa complessità spaziale: uno di piccole dimensioni, esplorabile da un unico punto di vista, e uno più esteso che richiede una navigazione dinamica. La fotogrammetria ha permesso di acquisire forma, misura e *texture* degli spazi, restituendo una nuvola di punti utilizzata per generare superfici NURBS (Fig. 6). Queste, regolarizzate ma dettagliate, sono state ottimizzate per la visualizzazione in *real-time*. Le *texture*, derivate dalle ortofotoproiezioni, riproducono fedelmente le sale senza ricorrere a simulazioni artificiali di materiali o luci. Sono stati rimossi apparati tecnologici e opere esposte, così da ottenere un modello flessibile e riadattabile a futuri allestimenti (Fig. 7). È stata

mantenuta la presenza di luci e ombre reali, considerate parte integrante della percezione ambientale, mentre l'uso delle ortofotoproiezioni ha rafforzato la scelta fotogrammetrica rispetto ad altre tecniche, come la scansione laser. Le *texture* applicate ai modelli hanno permesso di restituire irregolarità e dettagli reali, compensando le semplificazioni geometriche.

Relativamente alle opere utilizzate per la prima fase di sperimentazione, queste corrispondono a quelle effettivamente presenti nelle sale, ma l'architettura del modello consente la sostituzione o l'aggiunta di nuove opere, rendendo possibile l'analisi comparativa del comportamento dell'utente in relazione a diversi allestimenti.

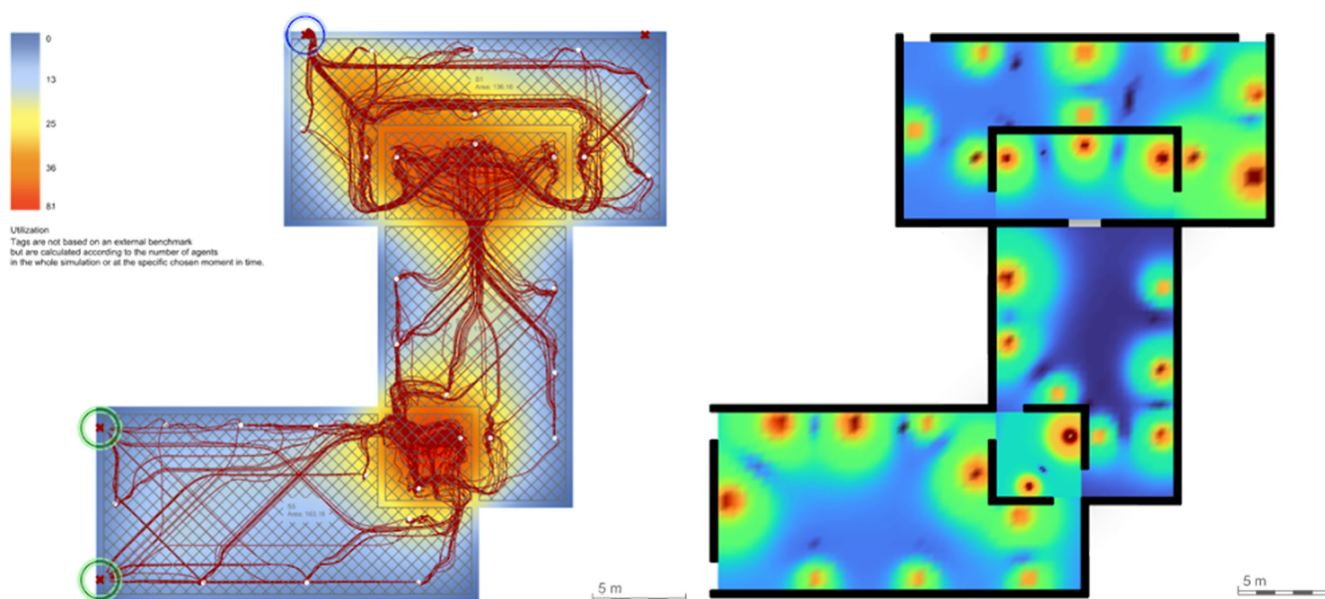


Fig. 5: Grafico di flusso ricavato dai dati di rilievo del movimento (Elaborazione di M. Calvano).

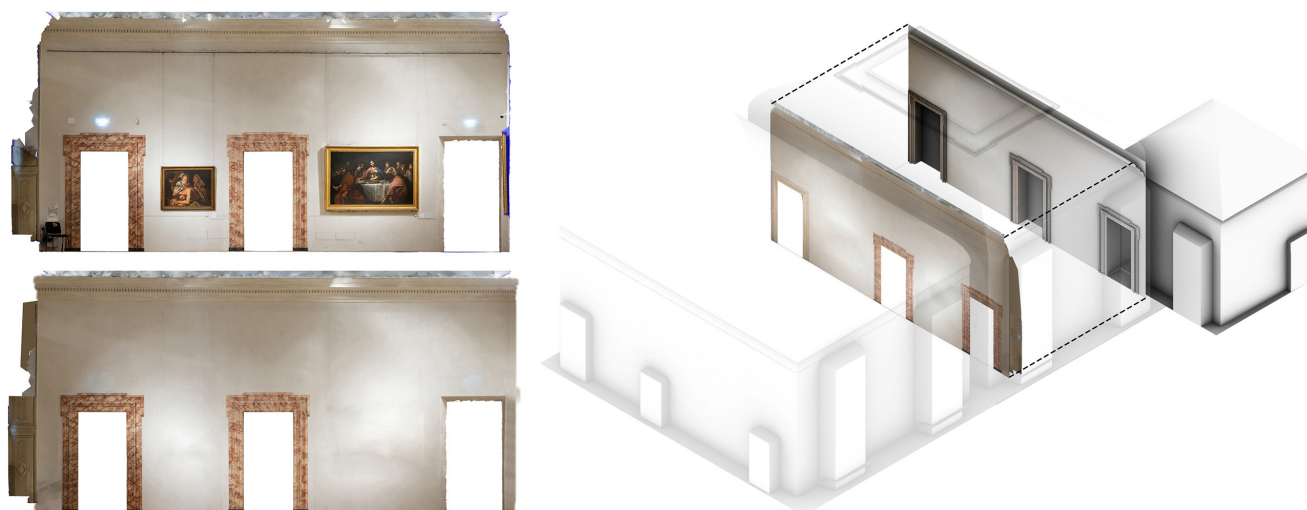


Fig. 6: La fase di *texturing* del modello attraverso *planar mapping*.

I modelli delle opere sono stati ottenuti a partire da riproduzioni bidimensionali in alta risoluzione, tratte dal catalogo ufficiale del museo. Questa scelta ha garantito l'omogeneità delle fonti iconografiche e una qualità elevata delle immagini, oltre a facilitare eventuali modifiche all'allestimento, grazie alla disponibilità di un archivio visivo coerente e standardizzato.

L'ottimizzazione del modello 3D

Lo step successivo del processo ha riguardato l'ottimizzazione del modello 3D per garantire una fruizione Web3D/WebXR in grado di garantire, in tempo reale, un buon equilibrio tra qualità visiva e performance dello strumento.

A tale scopo è stata innanzitutto effettuata una razionalizzazione delle *texture*, accorpando più

elementi in un'unica immagine di riferimento (*texture atlas*). Questa operazione ha imposto una selezione strategica basata sulla rilevanza percettiva, mantenendo una risoluzione elevata per gli elementi maggiormente significativi (cornici di quadri e porte), mentre si è proceduto a una riduzione della qualità per le superfici meno rilevanti, come le pareti neutre o gli elementi lontani dal punto di osservazione dell'utente, fissato ad altezza umana durante la fruizione dell'esperienza iVR.

Sono poi stati impiegati strumenti semiautomatici per la compressione delle *texture* e la riduzione del modello, mantenendo un livello di dettaglio sufficiente per l'esperienza immersiva. Il modello ottimizzato è stato esportato in formati compatibili con la visualizzazione *online*, rendendo possibile il *rendering* in tempo reale su *browser*, senza la necessità



Fig. 7: La nuvola di punti acquisita attraverso il rilievo fotogrammetrico.

di installare *software* esterni, consentendo una più ampia diffusione dei test da remoto. Anche la geometria del modello 3D, inizialmente convertita da NURBS a poligonale, è stata ottimizzata, compressa e trasformata nel formato glTF.

Le misure dell'esperienza utente

L'ultimo step ha riguardato la misura e l'analisi dell'esperienza utente immersiva (iVR) negli spazi digitali museali. L'applicazione è stata sviluppata con il framework open-source ATON, che consente la condivisione e fruizione online di modelli 3D anche tramite visori immersivi, ampliando l'accessibilità dei contenuti e agevolando il tracciamento delle sessioni.

Per l'analisi dei comportamenti è stato adottato Interlumo, una piattaforma che cattura e aggrega interazioni utente in ambienti virtuali. Nel caso MUSE sono stati raccolti dati relativi a posizione 3D e direzione di osservazione. Una prima sperimentazione è stata condotta su un campione seppur contenuto numericamente tale da validare il workflow ed individuare correttivi, come quello dell'aggiunta di una 'stanza filtro' posta all'inizio della visita immersiva in grado di favorire la familiarizzazione con il visore ma senza alterare i dati.

Il tracciamento ha permesso di ricostruire i percorsi individuali, anche con visualizzazione in prima persona,

e di generare *heatmap* tramite *Kernel Density Estimation*. Tali strumenti evidenziano aree di maggiore permanenza e interesse, fornendo dati utili per comprendere la relazione tra visitatori e allestimenti (Fig. 8).

Discussione e prospettive

L'integrazione delle due sperimentazioni permette un'analisi bidirezionale dimostrandosi uno strumento versatile per la ricerca e la gestione museale: dal reale al virtuale, aggiornando il clone digitale con dati empirici di comportamento, dal virtuale al reale, testando soluzioni in ambiente controllato prima di implementarle.

Le due sperimentazioni, integrate, delineano un ecosistema in cui reale e virtuale possono costantemente dialogare in un unico quadro analitico. Da un lato, il clone digitale consente di sperimentare e valutare configurazioni espositive in un contesto controllato; dall'altro, il tracciamento reale fornisce il riscontro diretto dei comportamenti autentici dei visitatori.

Combinando approcci e dati, MUSE apre la strada a un protocollo di valutazione integrato dell'esperienza museale, utile non solo per ottimizzare gli spazi, ma anche per progettare percorsi personalizzati, sviluppare politiche di *audience development*

e creare esperienze differenziate con scenari differenziati per target e tecnologie (AR, VR, MR).

Il risultato non è solo un archivio digitale, ma un laboratorio di progettazione culturale in cui il digitale diventa strumento critico e operativo per la valorizzazione e gestione del patrimonio museale contemporaneo.

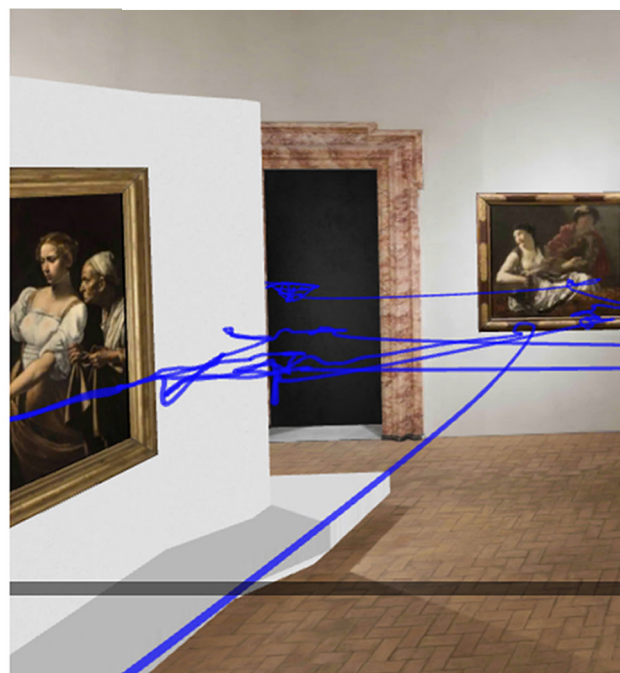
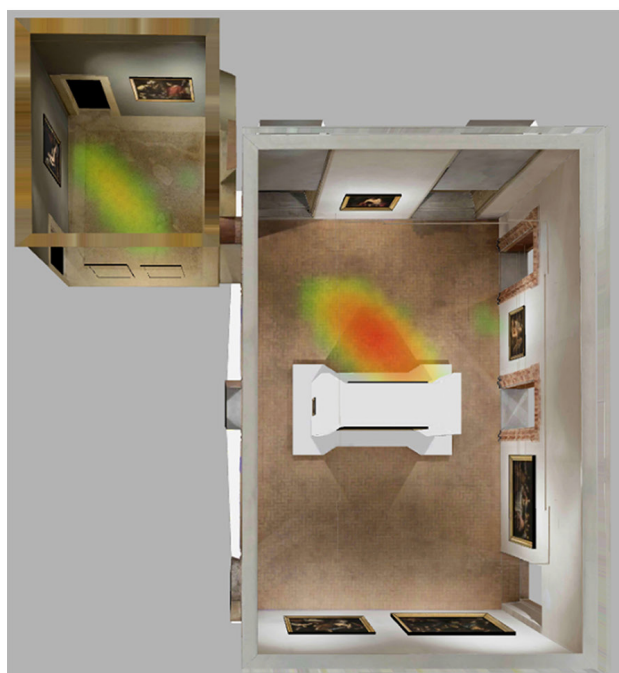


Fig. 8: Esempi di visualizzazione dei dati ottenuti durante le sessioni di tracciamento.

References

- Angeloni, R., Pierdicca, R., Paolanti, M., Mancini, A., & Tonelli, A. (2021). Measuring and evaluating visitors' behaviors inside museums: The Co.ME. project. *SCIRES-IT*, 11(1), 167–178.
<https://doi.org/10.2423/i22394303v11n1p167>
- Bonacchi, A., Ferrari, A., Camilleri, L., & Chiesi, F. (2018). Multidisciplinary psychosomatic assessment for UX design evaluation. *Studies in Digital Heritage*, 2(1), 106–120.
<https://doi.org/10.14434/sdh.v2i1.25652>
- Brunet, P., De Luca, L., Hyvonen, E., Joffres, A., Plassmeyer, P., Pronk, M., Scopigno, R., & Sonkoly, G. (2022). Report on a European collaborative cloud for cultural heritage. European Commission.
<https://data.europa.eu/doi/10.2777/64014>
- Centorrino, P., Corbetta, A., Cristiani, E., & Onofri, E. (2021). Managing crowded museums: Visitors flow measurement, analysis, modeling, and optimization. *Journal of Computational Science*, 53, 101357.
<https://doi.org/10.1016/j.jocs.2021.101357>
- Clini, P., Angeloni, R., D'Alessio, M., & Quarchioni, R. (2023). Enhancing onsite and online museum experience through digital reconstruction and reproduction: The Raphael and Angelo Colocci temporary exhibition. *SCIRES-IT*, 13(2), 71–84.
<https://doi.org/10.2423/i22394303v13n2p71>
- Falk, J. H. (2003). Personal meaning mapping. In G. Caban, C. Scott, J. Falk, & L. Dierking (Eds.), *Museums and creativity: A study into the role of museums in design education* (pp. 10–18). Sydney, AU: Powerhouse Publishing.
- Falk, J. H., Scott, C., Dierking, L., Rennie, L., & Cohen Jones, M. (2004). Interactives and visitor learning. *Curator: The Museum Journal*, 47(2), 171–198.
<https://doi.org/10.1111/j.2151-6952.2004.tb00116.x>
- Luther, W., Baloian, N., Biella, D., & Sacher, D. (2023). Digital twins and enabling technologies in museums and cultural heritage: An overview. *Sensors*, 23(3), 1583.
<https://doi.org/10.3390/s23031583>
- Malik, U. S., Micoli, L. L., Caruso, G., & Guidi, G. (2023). Integrating quantitative and qualitative analysis to evaluate digital applications in museums. *Journal of Cultural Heritage*, 62, 304–313.
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.06.002>
- Massafra, A., Predari, G., & Gulli, R. (2022). Towards digital twin driven cultural heritage management: An HBIM-based workflow for energy improvement of modern buildings. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-5/W1-2022, 149–157.
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-149-2022>
- Neumann, A., Aichele, C., Lindner, M., & Wunderlich, S. (2008). Better approach to mobile ad-hoc networking (BATMAN). IETF draft, 1–24.
- Onofri, E., & Corbetta, A. (2021). RSSI-based visitor tracking in museums via cascaded AI classifiers and coloured graph representations. *arXiv*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.11091>
- Spachos, P., & Plataniotis, K. N. (2020). BLE beacons for indoor positioning at an interactive IoT-based smart museum. *arXiv*, 2001, 1–11.
<https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.2969088>
- Spanò, A., Patrucco, G., Sammartano, G., Perri, S., Avena, M., Fillia, E., & Milan, S. (2023). Digital twinning for 20th century concrete heritage: HBIM cognitive model for Torino Esposizioni Halls. *Sensors*, 23(10), 4791.
<https://doi.org/10.3390/s23104791>
- Wang, Y., Zhang, Y., & Zhang, L. (2024). Developing a digital management system for museum collections using RFID and enhanced GIS technology. *PeerJ Computer Science*, 10, e2462.
<https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2462>
- Yoshimura, Y., Sobolevsky, S., Ratti, C., Girardin, F., Carrascal, J. P., Blat, J., & Sinatra, R. (2016). An analysis of visitors' behavior in the Louvre Museum: A study using Bluetooth data. *arXiv*, 1605, 1–17.
<https://doi.org/10.1068/b130047p>
- Zhuang, Y., Yang, J., Li, Y., Qi, L., & El-Sheimy, N. (2016). Smartphone-based indoor localization with Bluetooth low energy beacons. *Sensors*, 16(5), 596.
<https://doi.org/10.3390/s16050596v>

MÚLTIPLES VERSIONES DE UNA COSA SINGULARIDADES, INVARIANTES E INNOVACIONES EN LOS SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN DE LA ARQUITECTURA EN EL POST-HUMANISMO

Multiple versions of one thing
Singularities, invariants, and innovations in
Representational systems in post-human Architecture

Authors

Carlos Campos

Universidad de Buenos Aires (FADU, UBA)

Email

ccamposarq23@gmail.com

Keywords

ARCHITECTURE
DRAWING MACHINES
HUMAN AND MACHINE
REPRESENTATION

Abstract

El artículo explora la evolución del concepto de aleatoriedad en la arquitectura, desde un término negativo y ajeno, hasta su integración en el diseño contemporáneo como herramienta de innovación y experimentación. Se aborda el papel de las "máquinas de dibujar", que combinan procesos aleatorios y autoorganizados para generar estructuras complejas. La interacción entre humano y máquina, en un contexto posthumanista, es clave para enfrentar la complejidad y riqueza de la incertidumbre proyectual.

The paper explores the evolution of the concept of randomness in architecture, from a negative and distant term to its integration in contemporary design as a tool for innovation and experimentation. It discusses the role of "drawing machines," which combine random and self-organizing processes to create complex structures. The interaction between human and machine, in a posthumanist context, becomes crucial to addressing the complexity and richness of design uncertainty.

Si consultáramos una enciclopedia popular de hace unos cincuenta años, encontraríamos una definición de "Aleatoriedad" plena de connotaciones inconvenientes, o simplemente negativas. Hasta no hace mucho tiempo, el consenso que el común de las personas tenían de términos tales como autoorganización, aleatoriedad, entropía, randomness o simplemente desorden se encontraba simplemente fuera del vocabulario arquitectónico. La enciclopedia dell'architettura Garzanti (1996) no contiene estos términos, sin embargo hoy los motores de búsqueda de Internet nos acercan a las definiciones de la enciclopedia en el 2025, revelando que "las características de lo no determinable anticipadamente, casual o imprevisible se aplica a la arquitectura en contextos como la experimentación libre o la innovación, rechazando reglas preestablecidas. La casualidad puede manifestarse en la elección de materiales, formas y en la disposición de los espacios, que pueden ser influenciados por factores imprevistos y no planificados" De manera que el término ha sufrido fuertes transformaciones semánticas, entrando decididamente en el campo de la Representación. "Nada nuevo puede surgir sin lo aleatorio" y "lo que evoluciona es el contexto" parecen ser frases que han atravesado el tiempo con acierto (Bateson). Para la enseñanza de Arquitectura en el presente, Aleatoriedad significa contexto, sociedad, acontecimiento, futuro, identidad, historia, autoorganización, entropía. Es necesario abrazar la Aleatoriedad para comprender los procesos transformadores del proyecto y su contexto. La pregunta es: Cómo abordar la enseñanza y la generación de Aleatoriedad en el post humanismo? Dónde encontrar, visualizar, transmitir las reglas de la autoorganización, el orden dentro de lo no planificado, las recursividades, la lógica de los procedimientos, la riqueza de la complejidad, los patrones, las estructuras?

Desde mi punto de vista, una clave importante es la recomposición de la interacción humano-máquina. Esta relación, fuertemente presente durante todo el siglo XX se desdibujó desde la llegada de las pantallas y los teléfonos inteligentes durante los primeros años del siglo XXI. Con anterioridad a la popularización de las pantallas, las personas interesadas en aprender un arte estaban generalmente obligados a utilizar un instrumento, una herramienta, una máquina. Un clarinete, un piano, un pantógrafo, un escalímetro, una prensa a rodillos, un cincel, un sintetizador. Por supuesto que estos instrumentos y máquinas siguen existiendo entre nosotros, sin embargo es también claro que hoy podemos generar sonidos, objetos en 3d, dibujos, planos, sin necesidad de desarrollar una relación física con el resultado. Todo o casi todo puede ser generado a través de imágenes generadas por pantallas, controladas desde el teclado y el mouse pad. Esta instancia

proyectual – digital – de pantalla se interpuesto entre la primera organización mental y el resultado material final de nuestro trabajo. Pero al mismo tiempo, este nuevo paso desligado del contacto físico con una maqueta, el contacto con el teclado de un piano o las llaves de un aerófono, el plegado del papel o el golpe del cincel contra la piedra, no nos separa únicamente de la cualidad material de nuestro trabajo: nos separa igualmente de la relación que solíamos tener con la máquinas e instrumentos necesarios para desarrollar un proyecto.

La utilización de máquinas de dibujar, la generación de arrepresentaciones, autoorganizaciones, las operaciones destinadas a generar aleatoriedad, patrones no previsibles, estructuras basadas en geometrías no euclidianas, sólidos no platónicos, aparece como una gran oportunidad para la experimentación e innovación en diseño y arquitectura (Figg. 1-4). Hoy contamos con los instrumentos técnicos adecuados para gestionar, administrar, transformar y operar a partir de la generación de información aleatoria. No es necesario simplificar ni sintetizar en pocas acciones nuestro trabajo y nuestro pensamiento. Finalmente podemos interactuar con la complejidad del mundo a través de dispositivos que comienzan a tener la capacidad de lidiar con la Aleatoriedad.

Máquinas de Dibujar: El primer paso para interactuar con sistemas complejos generados por máquinas es justamente, construir una. Puede ser una máquina simple, la articulación de brazos mecánicos que permitan a un instrumento de escritura (un lápiz, un marcador de punta fina), generar líneas a partir de patrones repetitivos en una hoja de papel. Estas líneas deben estar generadas a partir de un dispositivo capaz de actuar por sí solo. Un dispositivo técnico, que, una vez activado por acción humana, sea capaz de cumplir un proceso completo. El ejemplo más sencillo es el del péndulo de Foucault. Un peso pende de un punto fijo en altura, y al ser empujado por una fuerza humana, comienza a pendular generando un recorrido en forma de estrella que debido al giro de la tierra y los campos magnéticos, completa cíclicamente el giro de 360 grados sin más intervención humana que la construcción de la máquina y su activación. Hemos construido péndulos de Foucault para generar patrones y estructuras gráficas de simple generación no humana. Pero construimos también máquinas más complejas. Algunas realizadas a partir del uso de pequeños motores de corriente continua, o refuncionalización de pequeños appliances domésticos, como batidoras afeitadoras, cuchillos eléctricos o juguetes. En todos los casos la activación del proceso es humana, pero la transformación generada a partir de las operaciones gráficas que la máquina de dibujar produce terminan por generar patrones aleatorios plenos de orden y recursividad, sobre los cuales podemos leer y jerarquizar verdaderas

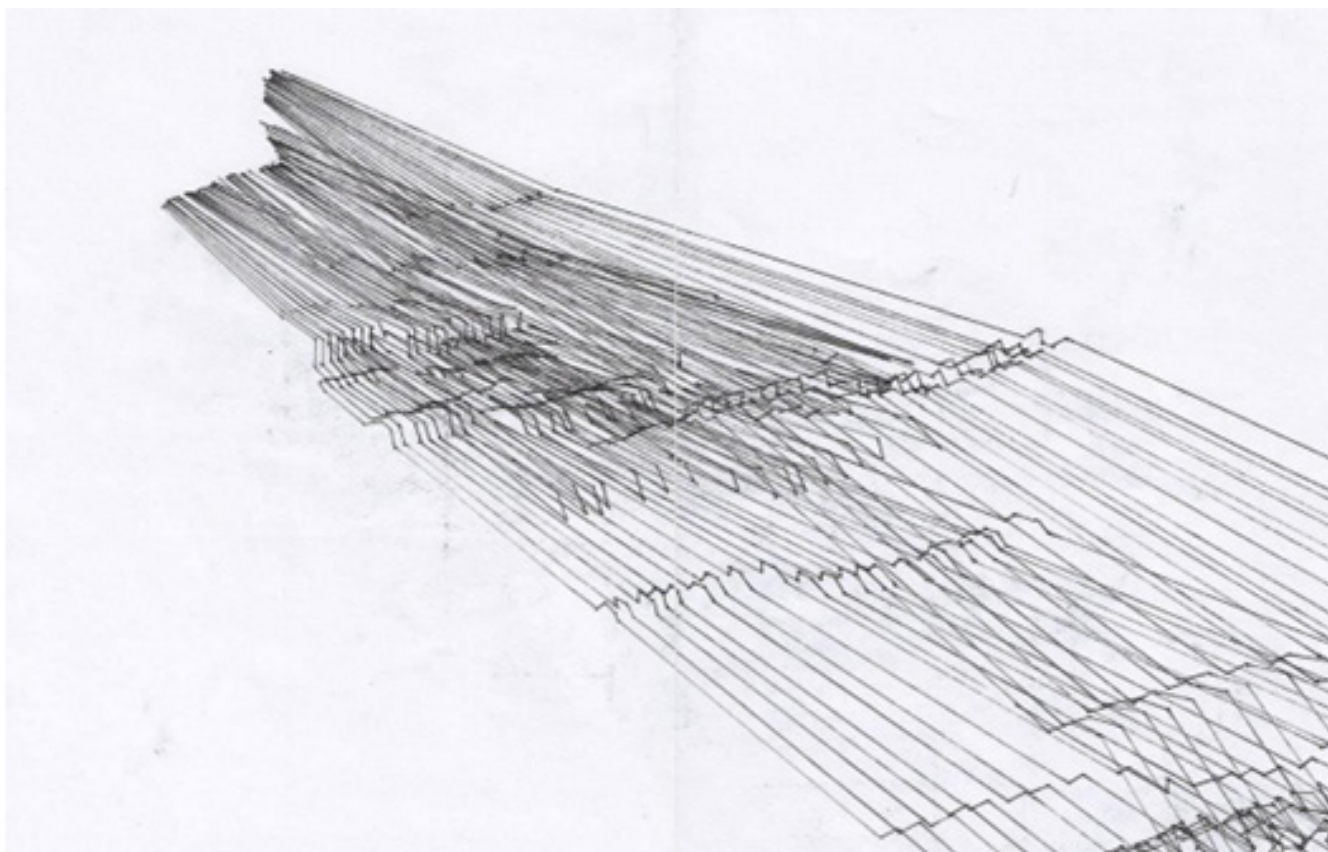


Fig. 1: A-Representation generated from the shadow of an object. Cátedra Campos, FADU, UBA.

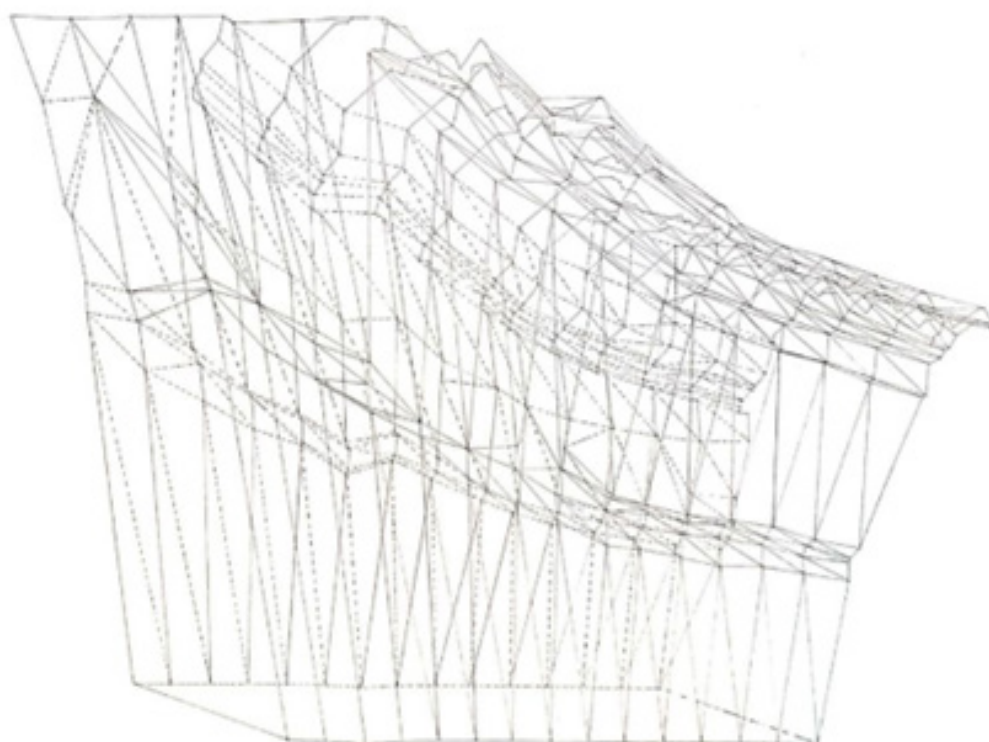


Fig. 2: A-Representation generated from the shadow of an object. Cátedra Campos, FADU, UBA.

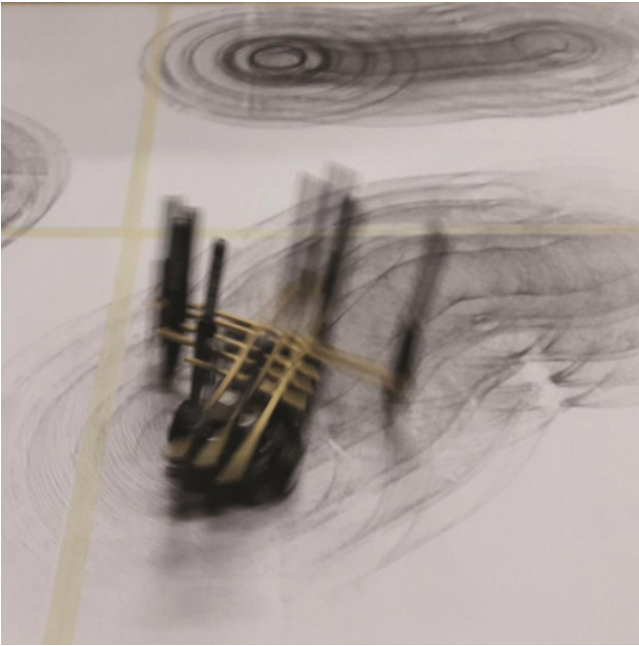


Fig. 3: Drawing machine constructed from a battery-operated toy. Cátedra Campos, FADU, UBA.

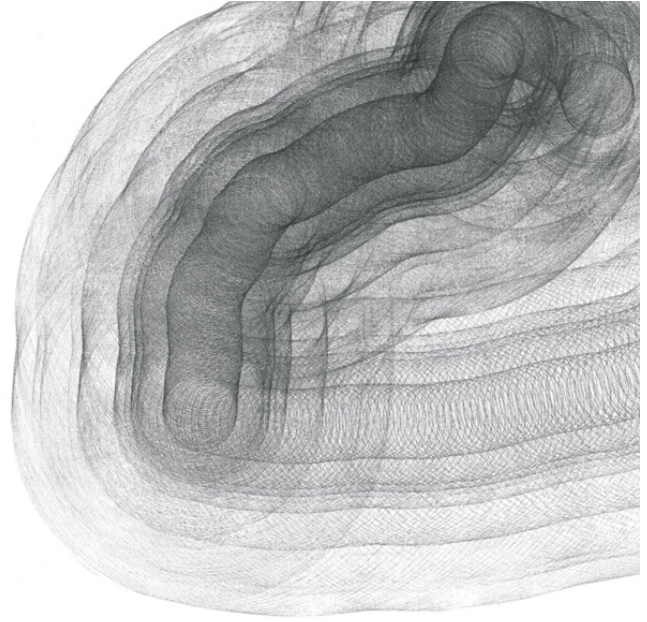


Fig. 4: A-Representation generated by a drawing machine. Cátedra Campos, FADU, UBA.

estructuras. Estas estructuras pueden ser construidas a través de modelos físicos (Figg. 5-6).

Una tercera categoría de máquinas de dibujar involucra dispositivos más complejos como software y hardware, dispositivos omni-wheels (ruedas capaces de rodar en todas las direcciones contemporáneamente), y tantos dispositivos técnicos y programaciones como queramos poner en acción. El resultado difiere sensiblemente de las arrepresentaciones generadas por otros medios mecánicos no electrónicos ni digitalizados, abriendo nuevas posibilidades. Sin embargo, este resultado siempre se desarrolla en el campo material analógico, y la mayor parte de las veces es de una complejidad tal que digitalizarlo no se vuelve una tarea práctica, y muchas veces resulta inútil. Los dispositivos máquinicos aún tienen algo que decir en el mundo digital: su complejidad analógica sigue estando vigente, y las dimensiones que explora no resultan fáciles de replicar en el mundo digital (Figg. 7-8).

Imágenes Técnicas, Imágenes Tradicionales: Las arrepresentaciones, hijas de la Aleatoriedad, consecuencia de la reiteración, son la expresión de los patrones que en el paso siguiente debaremos interpretar. Los patrones o arrepresentaciones obtenidos muestran múltiples grados de redundancia y recursividad, a través de los cuales podemos identificar puntos, secuencias, formas, ausencias. La manera en que organicemos estos objetos producidos a través de un procedimiento no humano conformarán una estructura. Esta estructura puede ser el origen de una maqueta física, un modelado en 3d, una nube de puntos, o cualquier otro dispositivo capaz de ser interpretado, traducido, reconstruido

(Fig. 9). De esta manera, alternar entre la producción no humana de las máquinas de dibujar y la selección, trazado y organización humana de las diferencias importantes dentro de cada imagen técnica, da como resultado una integración, un ensamblaje humano-técnico capaz de producir lo nuevo.

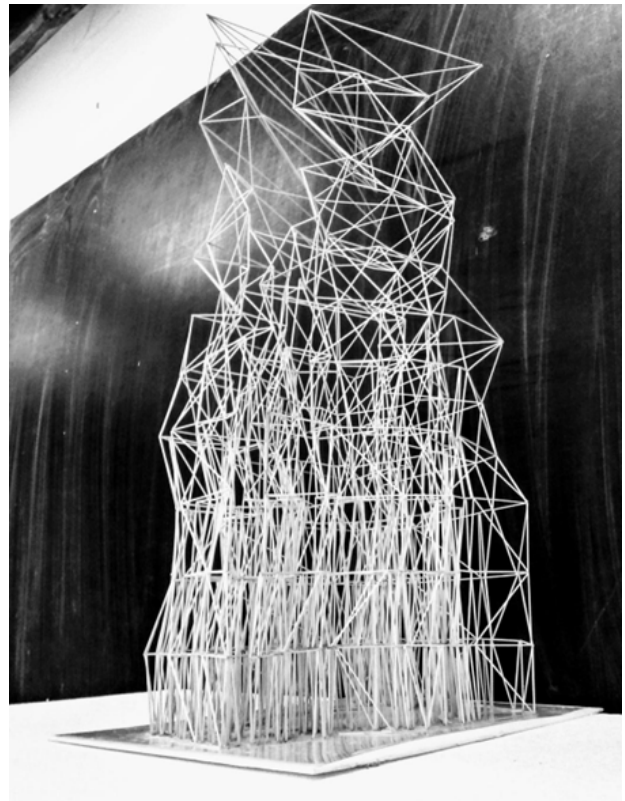


Fig. 5: Wooden model. Structure based on the Nolli Map of Rome, Pantheon. Cátedra Campos, FADU, UBA.

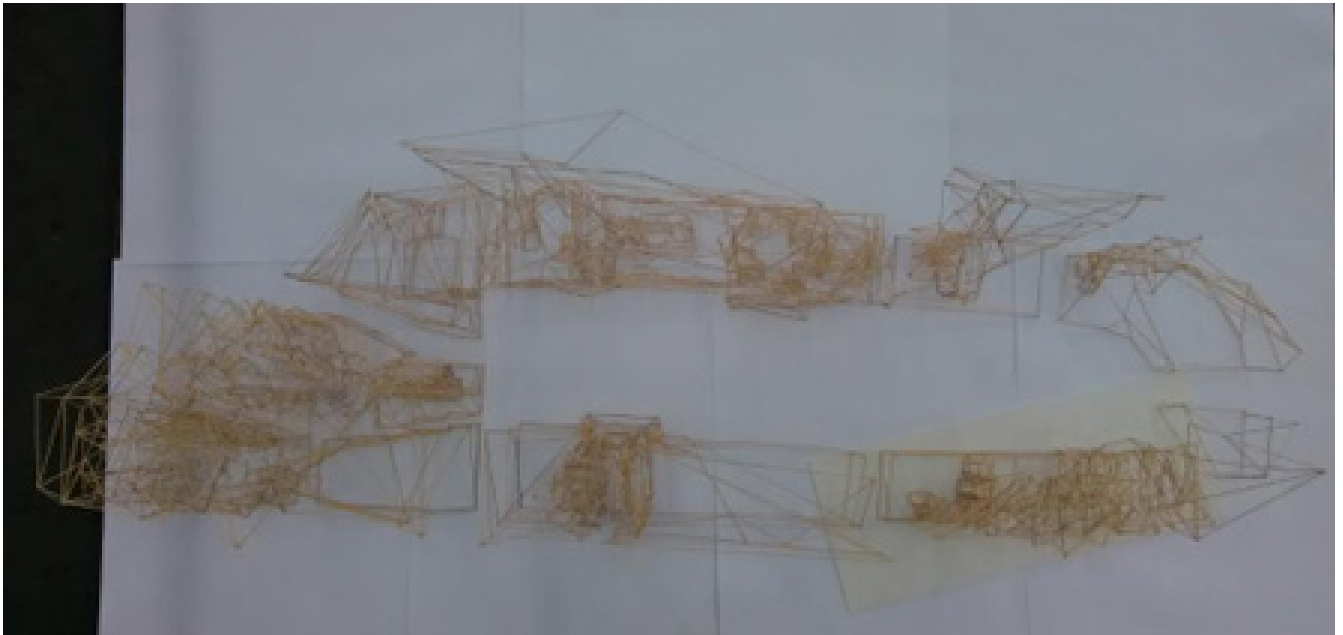


Fig. 6: Construction based on Noll's map of Rome. Piazza Navona. Cátedra Campos, FADU, UBA.

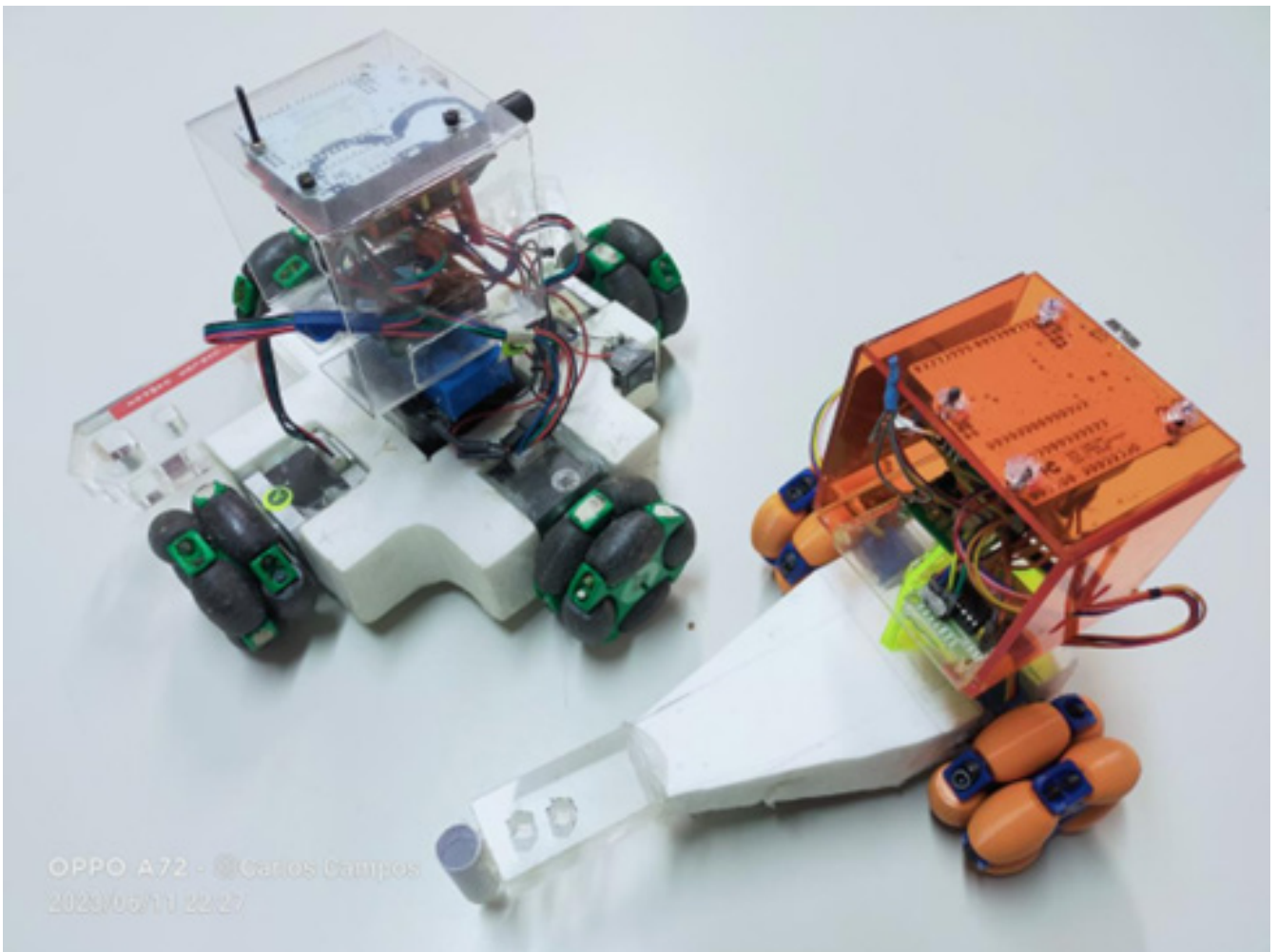


Fig. 7: Omni wheel digital drawing machines. Carlos Campos.

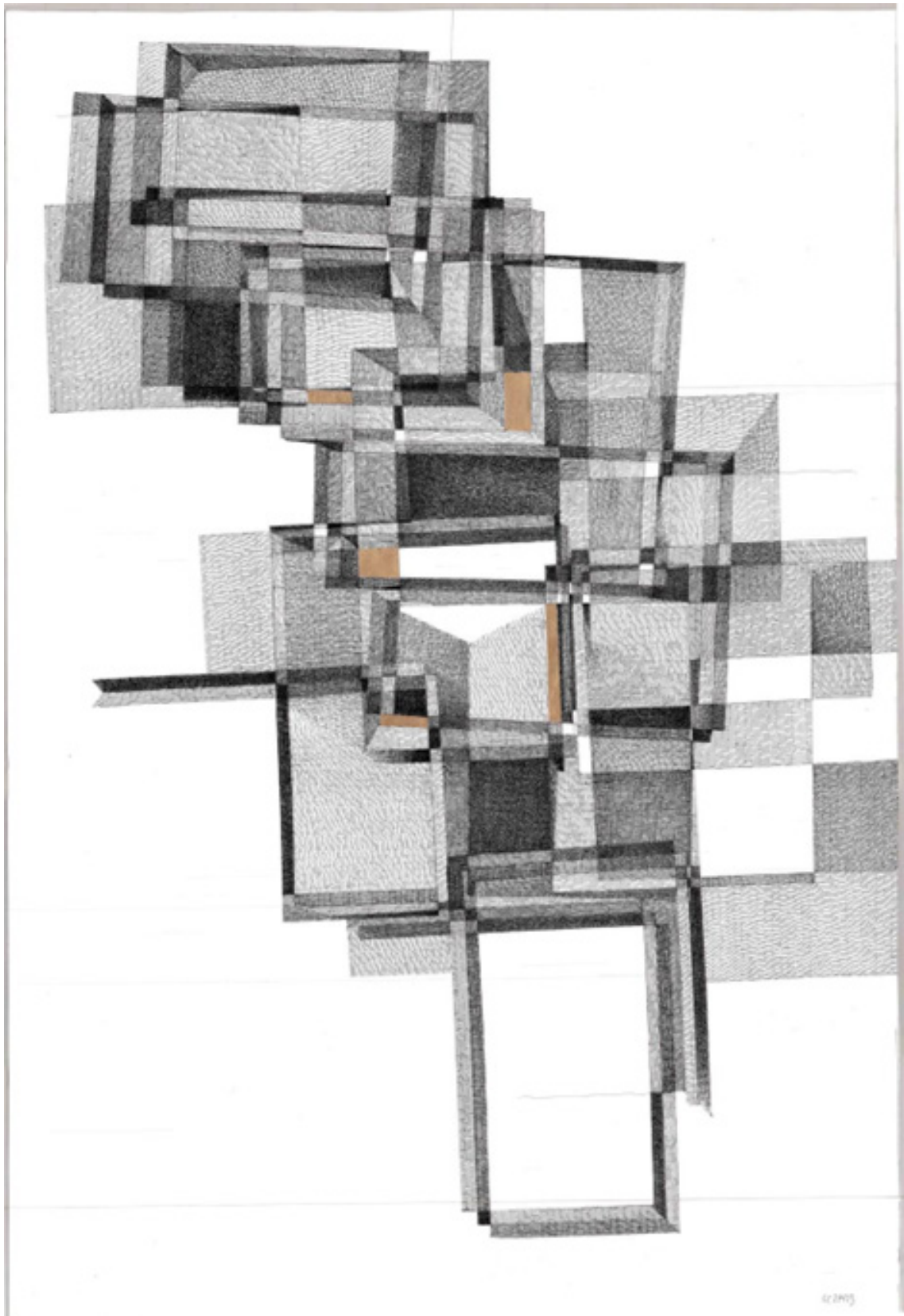


Fig. 8: A-Representation created using a digital drawing machine. Carlos Campos, 91 x 61 cm.

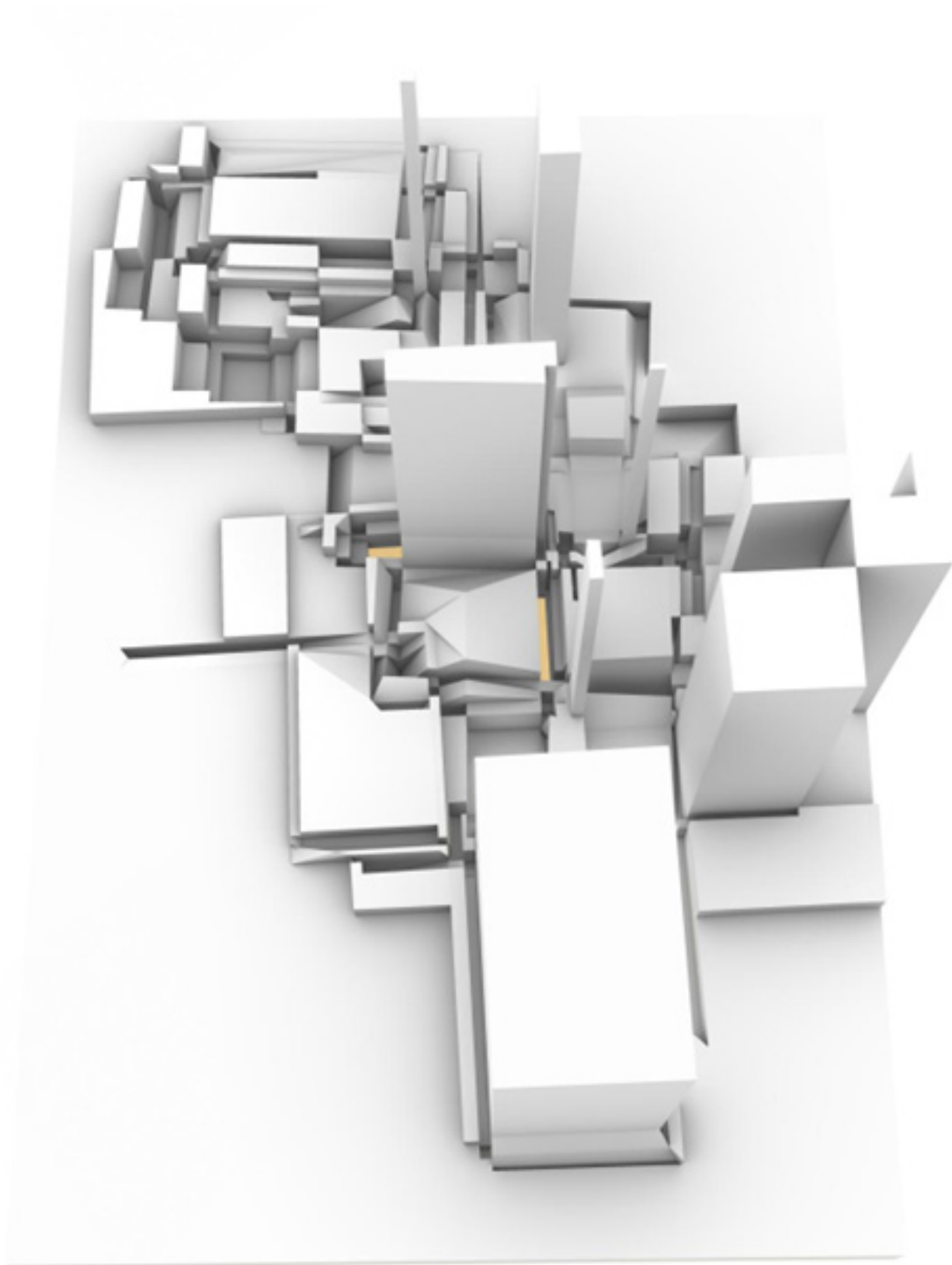


Fig. 9: 3D modeling based on the representation generated with a digital drawing machine . Carlos Campos.

LO XYSTUS NORD DI VILLA DEI QUINTILI: STUDIO ANALITICO E PROPOSTA PER LA CONSERVAZIONE

The North Xystus of Villa dei Quintili: Analytical
Study and Conservation Proposal

Authors

Alessandra Capuano

Sapienza Università di Roma, Dipartimento Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

Email

al.capuano@uniroma1.it

Keywords

RESTORATION
CONSERVATION
PROCESS
INTEGRATED MODEL

Abstract

Il presente studio propone un approccio metodologico per l'analisi e la gestione dei monumenti storici attraverso la realizzazione di modelli HBIM integrati e aggiornabili. Il caso di studio riguarda la Villa dei Quintili, con particolare riferimento al portico nord (Xystus) e al laboratorio tessile adiacente, analizzati mediante rilievi fotogrammetrici e analisi stratigrafiche. Il modello risultante integra dati geometrici, materici e conservativi, costituendo una base informativa completa per strategie di tutela e valorizzazione. La ricerca definisce un processo replicabile, in cui il modello digitale si configura come strumento dinamico di conoscenza, conservazione e gestione del patrimonio culturale.

This study presents a methodological approach for the analysis and management of historical monuments through the development of integrated and updatable HBIM models. The case study focuses on the Villa dei Quintili, particularly the northern portico (Xystus) and the adjoining textile workshop, investigated using photogrammetric and stratigraphic analyses. The resulting model integrates geometric, material, and conservation data, offering a comprehensive information base for preservation and enhancement strategies. The research proposes a replicable process in which the digital model acts as a dynamic tool for the knowledge, conservation, and management of cultural heritage.

Il Building Information Modeling (BIM) rappresenta una delle principali innovazioni nella gestione dei processi edilizi. La sua applicazione al patrimonio culturale ha aperto nuove prospettive metodologiche, dando origine all'HBIM (Heritage Building Information Modeling), strumento capace di integrare dati storici, archeologici, geometrici, materici e conservativi. Se nel settore delle costruzioni moderne il BIM consente di ottimizzare tempi, costi e processi, nel contesto dei beni culturali esso assume una funzione prevalentemente conoscitiva e gestionale, dove la molteplicità e la frammentarietà delle informazioni richiede un approccio aperto, modulare e dinamico. Il BIM diventa così non un fine, ma un processo metodologico, uno strumento in grado di guidare la gestione integrata del patrimonio, dalla documentazione alla fruizione, passando per l'analisi conservativa. La sperimentazione condotta sulla Villa dei Quintili, lungo la Via Appia Antica, ha avuto come obiettivo principale la verifica della validità di un approccio integrato, finalizzato non alla produzione di un modello esaustivo e statico, ma alla costruzione di un processo di conoscenza incrementale e replicabile. Questo approccio è stato fondato sull'integrazione di rilievi indiretti e diretti,

osservazioni archeologiche, indagini conservative, studi storici e fonti documentarie. In questa prospettiva, il modello HBIM non è un mero oggetto digitale, ma un laboratorio metodologico, che evolve con le ricerche e le nuove scoperte, creando un prototipo replicabile in altri contesti archeologici.

La Villa dei Quintili è tra i complessi residenziali più estesi e scenografici di età imperiale a Roma [Ashby T., La villa dei Quintili, in "Ausonia", 1909]. La sua posizione lungo la Via Appia Antica, arteria strategica realizzata nel IV secolo a.C., le garantiva un ruolo privilegiato nel paesaggio suburbano e un collegamento diretto con la città [Paris R., (a cura di), Via Appia Villa dei Quintili, Electa, Milano, 2000]. Le abbondanti risorse idriche provenienti da acquedotti e corsi naturali resero il sito particolarmente adatto a ospitare una residenza di prestigio (Fig. 1). Fondata dai fratelli Quintili nella seconda metà del II secolo d.C., la villa fu confiscata da Commodo, che ne fece una dimora prediletta, apportando ampliamenti e ristrutturazioni di rilevanza architettonica e urbanistica. Successivamente subì interventi dei Gordiani, per poi conoscere un lento declino [Frontoni R., Il cantiere antico a Villa dei Quintili, in "Forma Urbis", V,7/8, luglio/agosto 2000, Roma]. In epoca

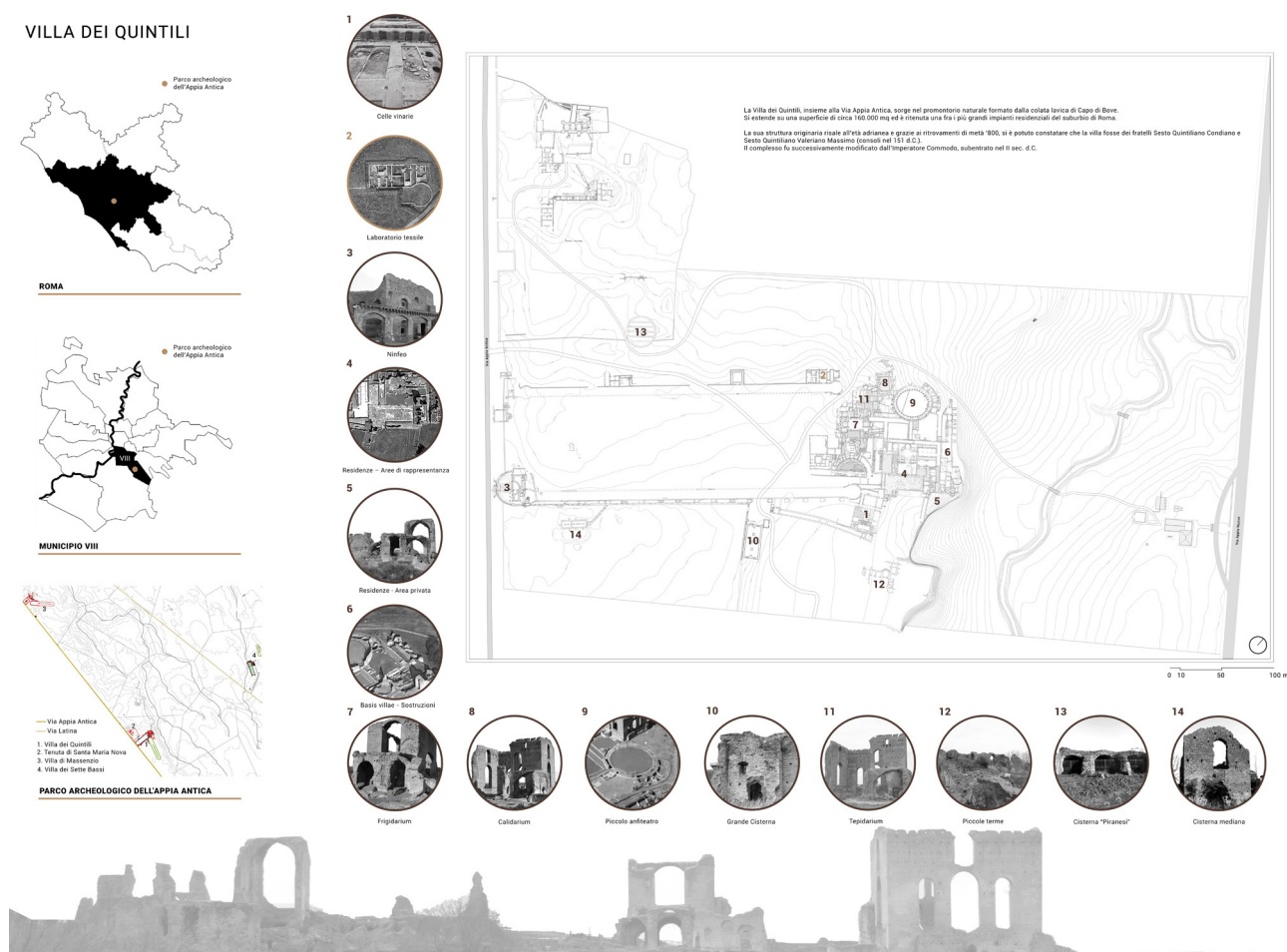


Fig. 1: Inquadramento del tema.

medievale l'area fu progressivamente abbandonata, e il complesso divenne una cava di materiali da costruzione, perdendo in parte la sua leggibilità originale. La storia della riscoperta della villa riflette l'interesse costante che essa ha suscitato nei secoli. Nel Medioevo compare nei documenti come fondo dei monaci di Sant'Erasmo; nel Quattrocento è ricordata come "statuario", per la grande quantità di statue emerse; nel Settecento e Ottocento, denominata Roma Vecchia, attirò le attenzioni dei Torlonia, che promossero scavi sistematici [Frontoni R., Galli G., Paris R., Rotondi A., Roma 1985-2011, Tutela e valorizzazione della villa dei Quintili in "Forma Urbis", numero monografico, XVII, 2, febbraio 2012]. Luigi Canina, architetto e archeologo, realizzò rilievi e ricostruzioni che ancora oggi costituiscono un riferimento imprescindibile [Ricci A. (a cura di), La Villa dei Quintili: fonti scritte e fonti figurate, Roma, Lithos, 1998]. Ritrovamenti di bolli laterizi e tubature in piombo con i nomi dei Quintili hanno confermato l'attribuzione della proprietà e arricchito il quadro documentario, permettendo di legare le trasformazioni architettoniche alle vicende storiche e alle figure dei proprietari. L'approccio metodologico adottato ha previsto l'integrazione di dati

eterogenei e complementari. Le fonti letterarie e documentarie hanno fornito informazioni di contesto storico e sociale; i rilievi diretti hanno permesso di verificare proporzioni, rapporti modulari e tecniche costruttive; le indagini strumentali hanno restituito dati geometrici e materici di alta precisione; il rilievo laser scanner ha prodotto una nuvola di punti dettagliata, utile per la modellazione tridimensionale e per la comprensione delle deformazioni strutturali; la fotogrammetria digitale ha consentito di ottenere ortofoto e prospetti fotoraddrizzati, indispensabili per analizzare superfici e murature (Figg. 2, 3).

L'analisi delle murature ha evidenziato una notevole varietà di tecniche costruttive: dall'opera incerta di tradizione adrianea, alle murature in laterizio attribuite a Commodo, fino alle tamponature e ai reimpieghi di età tarda. Lo studio ha inoltre individuato regolarità geometriche riconducibili a moduli proporzionali, confermando la coerenza del progetto originario e le scelte progettuali in termini di estetica e funzionalità (Figg. 4, 5). Lo xystus settentrionale rappresenta uno degli spazi più significativi della villa. Lungo oltre trecento metri, chiuso da ambienti absidati e affiancato da sale di rappresentanza, costituiva il luogo destinato alla passeggiata

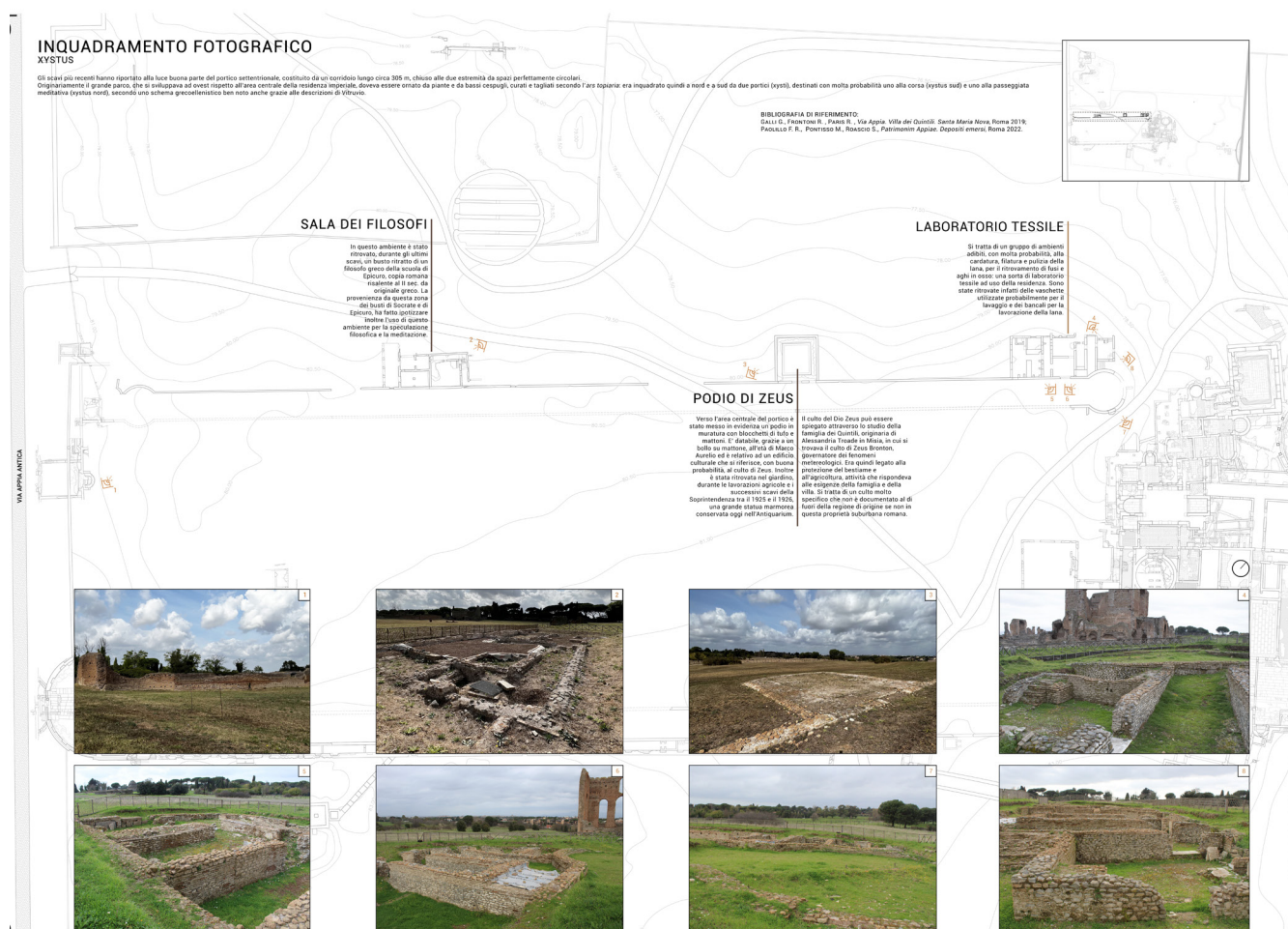


Fig. 2: Inquadramento fotografico.

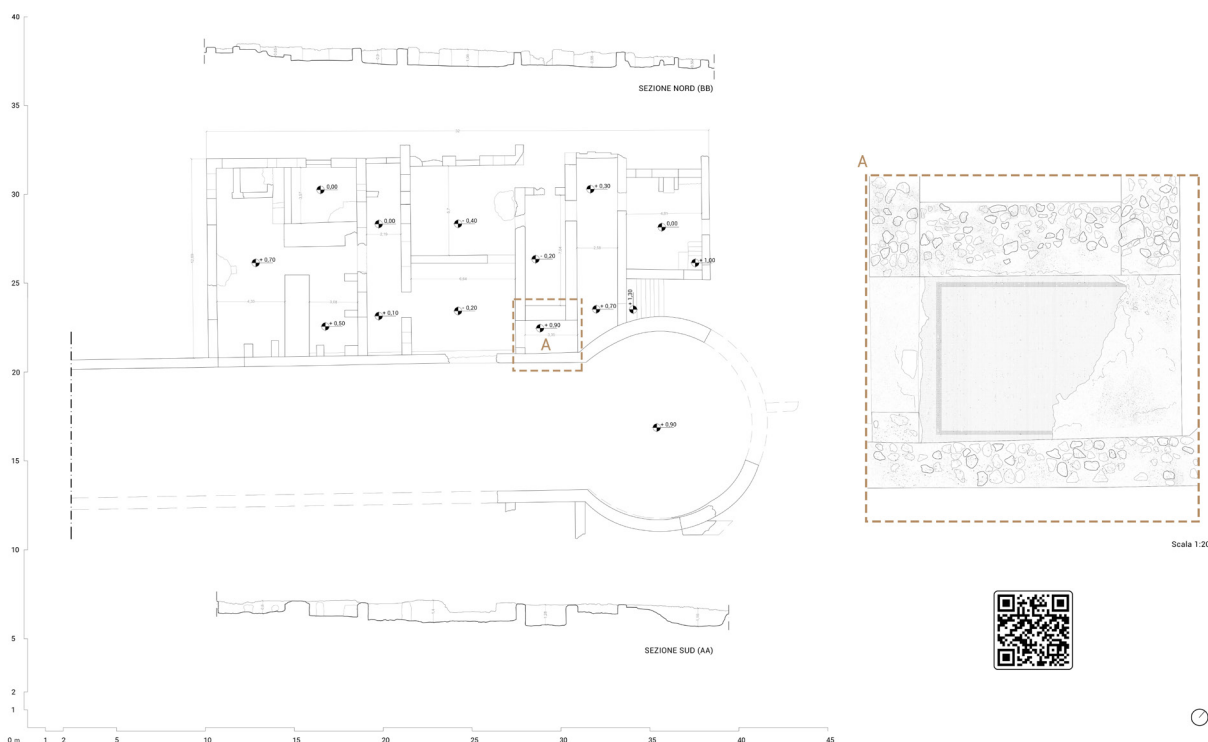


Fig. 3: Rilievo geometrico e porzione di rilievo architettonico.

meditativa. Contrapposto al portico sud, destinato agli esercizi ginnici, lo xystus nord assumeva un carattere più intellettuale e contemplativo. Il rinvenimento di busti di filosofi e personaggi illustri ha confermato questa funzione, suggerendo l'uso dell'area per momenti di riflessione e discussione. Il modello BIM elaborato per questo settore integra non solo la geometria, ma anche dati sulle tecniche edilizie, le fasi di trasformazione, i degradi e le ipotesi di restauro, configurandosi come un archivio digitale aperto, continuamente aggiornabile.

Accanto allo xystus è stato studiato un laboratorio tessile, ambiente produttivo complesso dove reperti archeologici (fusi, aghi in osso, vasche e canalizzazioni) hanno permesso di ricostruire la sequenza di attività legate alla lavorazione della lana: lavaggio, cardatura, filatura e feltratura. La disposizione degli spazi, organizzati in celle, e le successive modifiche murarie confermano questa interpretazione funzionale. Il modello informativo del laboratorio restituisce sia gli aspetti architettonici, sia quelli funzionali, dimostrando come il BIM possa diventare un mezzo interpretativo capace di integrare dimensione materiale e immateriale della produzione.

Il rilievo è stato accompagnato da una mappatura delle forme di degrado secondo la normativa UNI 1182:2006. Sono stati individuati depositi superficiali, efflorescenze saline, erosioni delle superfici

lapidee, colonizzazioni biologiche e vegetazione infestante. I bauletti sommitale, spesso compromessi, non garantiscono più la protezione delle muraure sottostanti, con conseguente infiltrazione e disgregazione dei materiali. Le strategie conservative elaborate comprendono puliture mirate, consolidamenti delle malte e trattamenti idrorepellenti. L'implementazione di questi dati nel modello BIM consente non solo di documentare lo stato attuale, ma anche di simulare scenari di intervento, fornendo uno strumento utile alle decisioni operative e alla pianificazione delle manutenzioni (Figg. 6, 7).

Parallelamente, grande attenzione è stata rivolta al tema della fruizione. L'analisi dei percorsi ha evidenziato criticità legate alla dispersione dei camminamenti e alla mancanza di accessi adeguati. Sono state avanzate proposte per riaprire l'accesso dalla Via Appia Antica, regolarizzare i percorsi interni e differenziare le pavimentazioni in base alle funzioni: principale, residenziale, produttiva. Sono state previste sedute, totem informativi e sistemi digitali basati su QR code, capaci di guidare il visitatore lungo un percorso arricchito da contenuti multimediali. Particolarmente interessante è la proposta di cantieri visitabili: grazie a pedane modulari e reversibili, il pubblico potrebbe assistere alle attività di scavo e restauro, trasformando la conservazione in un'esperienza didattica e partecipativa [Paris R., (a cura di), Via Appia Villa dei Quintili, Electa, Milano, 2000].

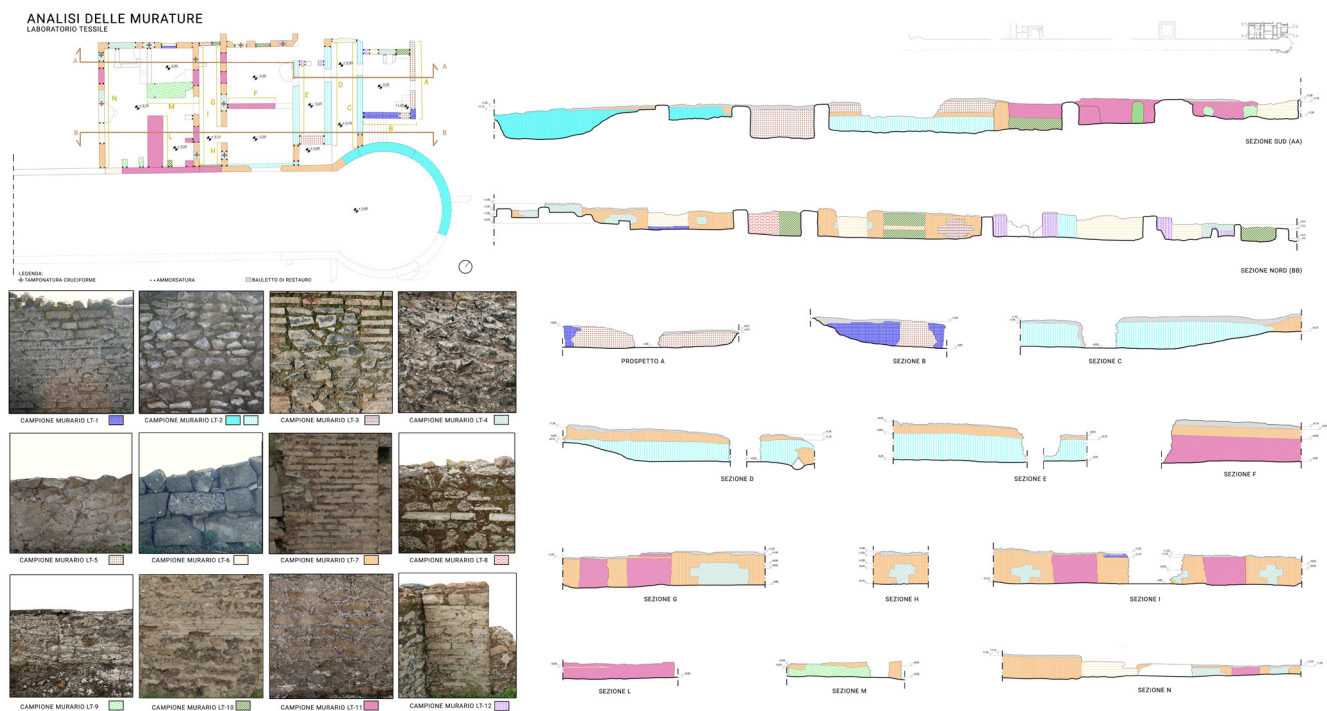


Fig. 4: Analisi delle murature presenti.

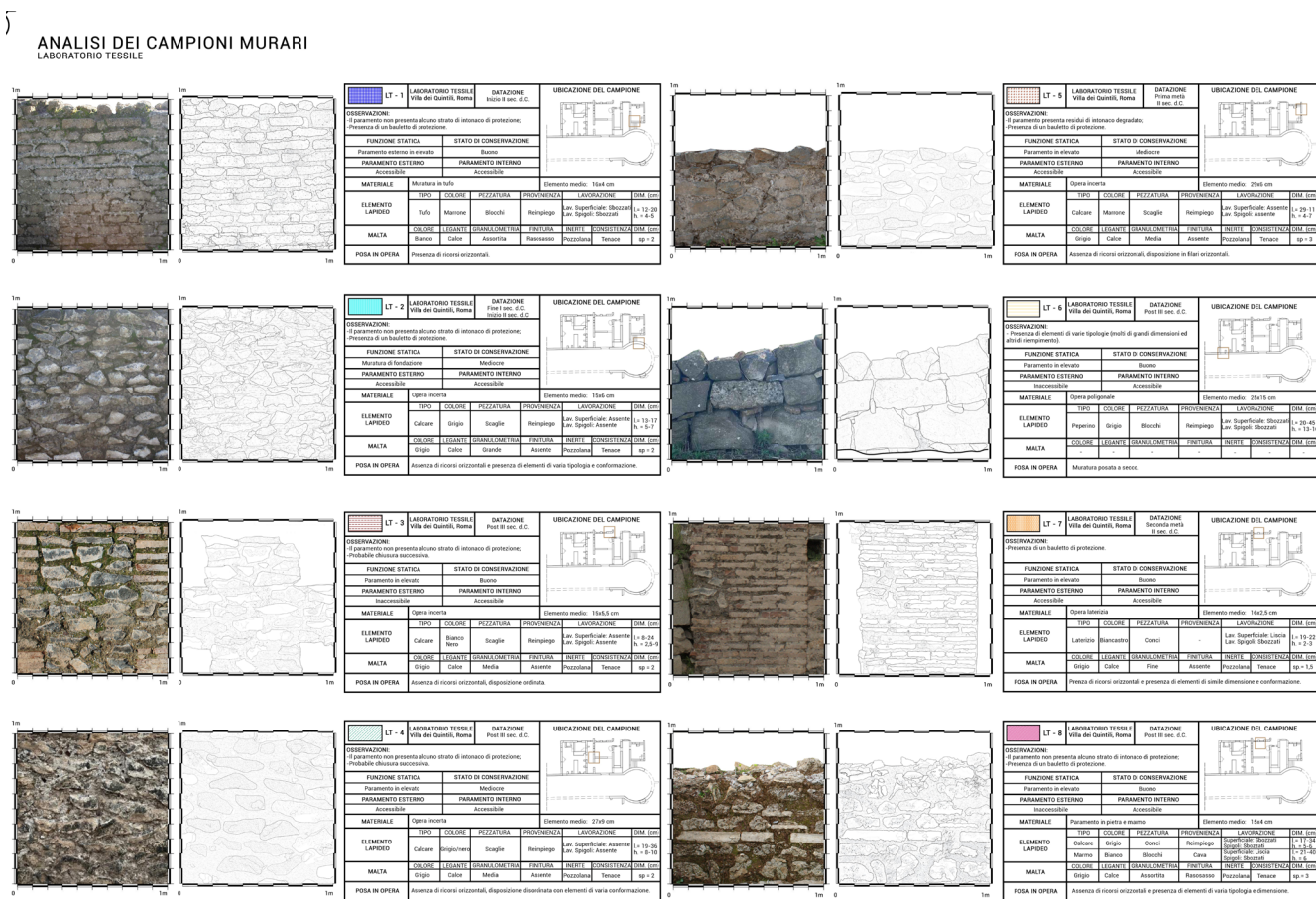


Fig. 5: Analisi dei campioni murari.

La sperimentazione sulla Villa dei Quintili ha dimostrato che il BIM applicato al patrimonio archeologico non deve essere inteso come prodotto conclusivo, ma come metodologia aperta e incrementale. La natura stessa del sito, con le sue stratificazioni e trasformazioni, impone un modello capace di integrare continuamente nuove scoperte, dati di indagine e interpretazioni. Lo xystus e il laboratorio tessile, pur nelle loro differenze, hanno dimostrato come il BIM possa diventare uno strumento per connettere rilievo, analisi, conservazione e valorizzazione, trasformando la complessità del patrimonio archeologico in un sistema organizzato e accessibile.

Il progetto di Heritage Building Information Modeling (HBIM) applicato alla Villa dei Quintili non si limita alla creazione di un modello digitale, ma si configura come processo metodologico dinamico, interdisciplinare e replicabile. Questo approccio consente di integrare dati provenienti da diverse fonti—storiche, archeologiche, geometriche e conservative—offrendo una rappresentazione complessa e stratificata del patrimonio culturale. La sperimentazione ha evidenziato come il modello BIM possa evolversi nel tempo, adattandosi alle nuove scoperte e alle esigenze di conservazione e

valorizzazione. La Villa dei Quintili, con la sua storia complessa e le sue stratificazioni architettoniche, rappresenta un caso emblematico per l'applicazione dell'HBIM. La metodologia adottata ha permesso di documentare e analizzare le diverse fasi costruttive e trasformatrice del sito, offrendo uno strumento utile non solo per la conservazione, ma anche per la fruizione e la valorizzazione del patrimonio. L'integrazione di tecnologie digitali avanzate, come il rilievo laser scanner e la fotogrammetria, ha reso possibile una rappresentazione dettagliata e precisa delle strutture, facilitando la comprensione e la comunicazione del sito a diversi livelli di utenza. L'esperienza sulla Villa dei Quintili dimostra che l'HBIM non è un obiettivo statico, ma un processo in continua evoluzione, capace di adattarsi alle sfide e alle opportunità offerte dalla ricerca e dalla tecnologia. Il modello digitale diventa un laboratorio metodologico, un punto di partenza per nuove indagini e interventi, e un esempio di come la digitalizzazione possa contribuire alla conservazione, alla valorizzazione e alla fruizione partecipata del patrimonio culturale. In prospettiva, l'approccio sperimentato può essere esteso ad altri siti archeologici, offrendo un modello replicabile, adattabile e interdisciplinare, capace

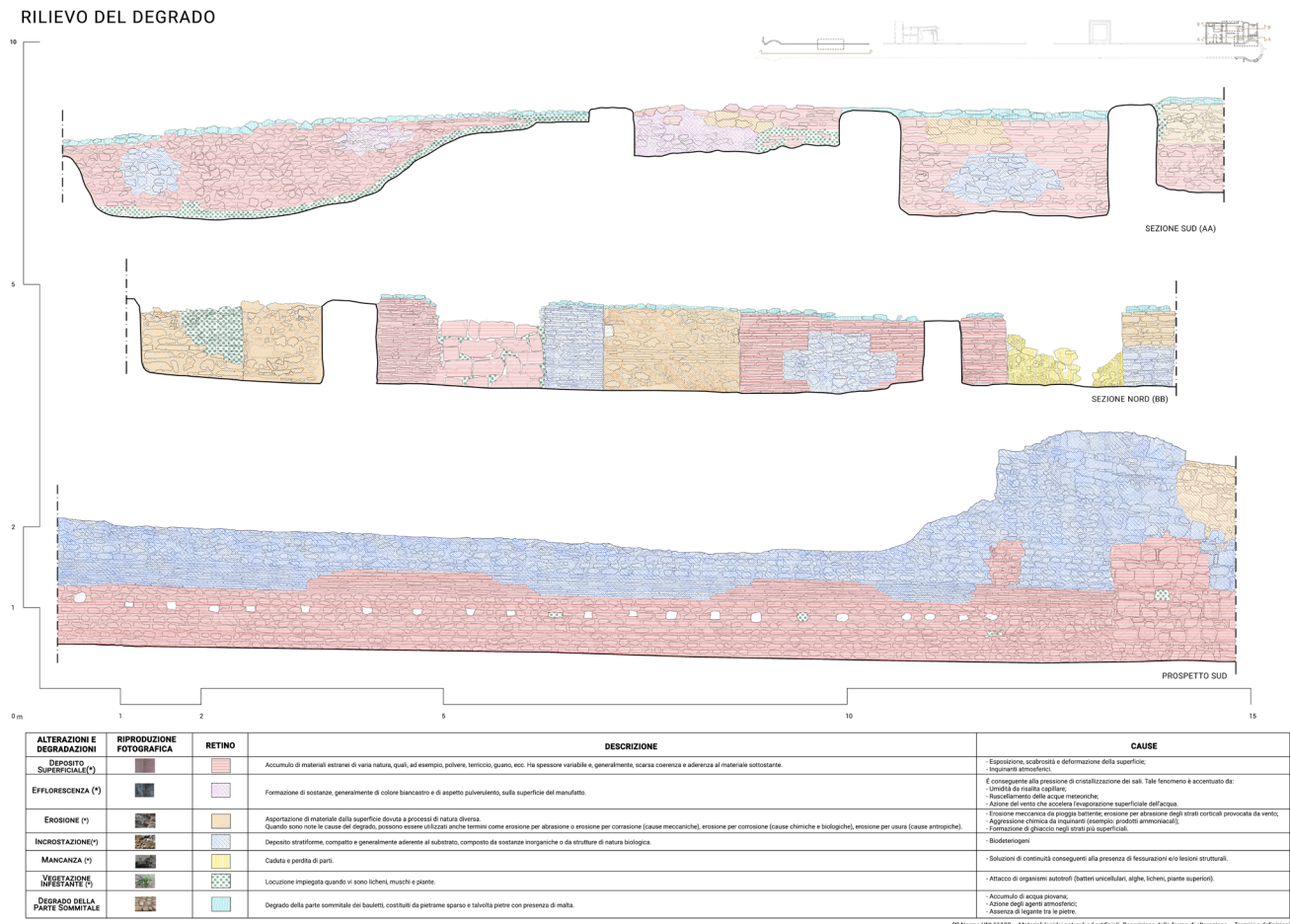


Fig. 6: Rilievo del degrado.

INTERVENTI SUL DEGRADO

CODICE	INTERVENTO	UTENSILI	PRODOTTI	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO
V01	ASPORTAZIONE DELLE PIANTE SUPERIORI	Spruzzatore; Tondello	Clorazione per l'applicazione al suolo e meteorizzazione per l'applicazione diretta sulle murature	- Utilizzo di adeguato prodotto erbicida da applicare a spruzzo sulla superficie fogliare. - Trascorrere un opportuno tempo di assorbimento del prodotto e conseguente perdita di vitalità delle piante, si può procedere alla rimozione manuale.
V02	RAMONAZIONE DELLE PIANTE INFERIORI (MUCIC, LICHENI, ETC.)	Spruzzatore; Bisturi	Prodotti biocidi (sali quaternari di ammonio)	- Applicazione di prodotti biocidi (sali quaternari di ammonio) a spruzzo. - Energia spazzatura e successivo risciacquo con abbondante acqua deionizzata per rimuovere tutti i residui di prodotto e di materiale biologico. - Trascorrere un opportuno periodo di posa, procedere alla rimozione e bisturi dei teli.
PU01	RAMONAZIONE DEI DEPOSITI INCROSTANTI	Spazzole morbide; Pennelli; Spago di saggini; Aspiratore		- Spazzatura delle superfici con spazzole morbide e pennelli. - Rimozione dei depositi incrostanti tramite cannuce collegate ad aspiratore. - Eventuale spolvero finale con getti d'aria compressa a bassa pressione.
PU02	PULITURA SUPERFICIALE	Impianto	Acqua reulizzata o demineralizzata	- Protezione delle aree circostanti di intervento con fogli di polietilene o altro materiale impermeabile. - Determinazione in più punti il contenuto di acqua del paramento lapideo (nel caso in cui le superfici sono costituite da pietre calcaree particolarmente tenere e a grana molto fine, la reulizzazione deve essere evitata). - Collegamento dell'impianto alla rete idrica. - Definizione della localizzazione e delimitazione degli ugelli. - Effettuare la pulitura dall'alto verso il basso per fasce orizzontali, in modo da consentire all'acqua di scivolare via senza ristagnare in zone sottostanti. - Evitare che il getto d'acqua reulizzata sia proiettata direttamente sulla superficie, facendo non solo sporcicare direttamente la faccia interessata, ma interferendo su di essa per ricadute. - Effettuare con l'impiego di acqua reulizzata e deionizzata per agevolare la completa rimozione dei sali prodotti dalla dissoluzione dei depositi rimasti.
PU03	PULITURA MECCANICA DELLE SUPERFICI INCROSTANTI	Spazzole; Spazzole; Bisturi		- Rimozione meccanica degli strati consistenti da parte dell'operatore tramite spazzole, spazzole e bisturi. - Eventuale spolvero finale con getti d'aria compressa a bassa pressione.
PU04	PULITURA DELLE EFFLORESCENZE	Impianti; Impacchi; Spazzole morbide; Pennelli a spugna		- Preparazione dell'impianto mediante acqua deionizzata e materiale assorbente. - Applicazione di ripetuti impacchi a pennello o spugna su supporti come per esempio paglia di cellulosa o spugna, per richiudere all'interno i sali effluvi. - La rimozione dell'impianto avviene mediante lavaggio.
CO01	CONSOLIDAMENTO DEGLI ELEMENTI ENDEI	Pennelli; Vaporizzatore	Consolidante al silicato di etile	- Preparazione della superficie assorbente, che deve risultare pulita e asciutta. - Applicazione del prodotto fino a completa saturazione del supporto, tramite vaporizzazione a bassa pressione con pennello a fibre naturali, se consentito dalla superficie di applicazione.
INT01	INTERAZIONE PUNTUALE DELLE LACUNE	Martelli; Punte; Lime	Materiale plastico legante; Malte compatibili per caratteristiche fisiche e chimiche	Operazioni preliminari: - Ispezione e rilievo dello stato di fatto della muratura oggetto di intervento per definire qualità, forme e modi di posa in opera dei nuovi elementi e per la definizione delle successive fasi operative dell'intervento. - Valutazione per l'eventuale realizzazione di puntellature e di sostegni provvisori che sostengano la parte del manufatto interessata dall'intervento per prevenire crolli o deformazioni indesiderate. - Rimozione degli eventuali elementi deperiti e sostituiti presenti all'interno dei vuoti e delle discontinuità da integrare tramite l'ausilio di martelli, punte e lime. - Effettuare le operazioni di pulitura (vedi voce PU02). - Posa in opera dei nuovi elementi nella sede e sul letto di inserimento preparati e puliti nelle fasi precedenti, utilizzando materiali plastici leganti, malte di composizione tradizionale e di nuova composizione con aggiunta di additivi che ne migliorino l'aderenza e ne disinquinano il letto. - Pulitura e rifilatura dei giunti di materiale legante posto tra gli elementi e, soprattutto, tra quelli del nuovo tratto di muratura e quelli preesistenti.
INT02	INTERAZIONE DELLA MALTA DEI RIPISTI	Spazzole	Impasti plastici dotati di resistenza analogica a quella del materiale preesistente e di caratteristiche fisiche analoghe	- Pulitura degli attardamenti esistenti da detriti e polvere, in modo da lasciare la superficie adatta per l'attardamento della nuova malta. - Effettuare le operazioni di pulitura (vedi voce PU02), per fornire alla malta superiore e alla superficie contenente dei materiali la necessaria saturazione e idratazione, evitando per evitare che assorbano l'acqua della nuova malta pregiudicandone la presa. - Proteggere le superfici non trattate con una pellicola protettiva o un telo. - Una volta che tutti i materiali necessari sono presenti sulle superfici, applicare la nuova malta spingendola nelle fessure ed esercitando la massima pressione possibile per facilitare la presa della nuova malta in quella antica. - Compattare e trarre la malta dopo che ha iniziato il suo processo di presa, ripetere l'operazione dopo 50 ore d'estate e dopo 24 ore d'inverno. Ripetere l'operazione finché la superficie non appare compatta e senza crepe.
PR01	PROTEZIONE DELLE SUPERFICI	Pennelli; Spruzzatore	Idrorepellente concentrato a base silossanica	- Stendere il prodotto sulle facciate, in modo da rendere la muratura idrorepellente, ma permeabile al vapore acqueo.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO:

CASANOVA G., Trattato di restauro architettonico - Secondo aggiornamento Roma 2008; CASANOVA G., Atlante del Restauro, Roma 2004; TOESLO B. P., MUSSO S. F., Tecniche di restauro architettonico, Roma 2003; TOESLO G., La cura dei materiali nel restauro dei monumenti, Roma 2001; FARRAS C., La conservazione delle superfici - il metodo e le tecniche, Milano 1997; CAZZULLA R. (a cura di), La conservazione dei monumenti - Metodologie di ricerca e tecniche di consolidamento contro il degrado - Atti del 1° Corso di informazione ASSIRCO Perugia, 6-7 novembre 1979, Roma 1981

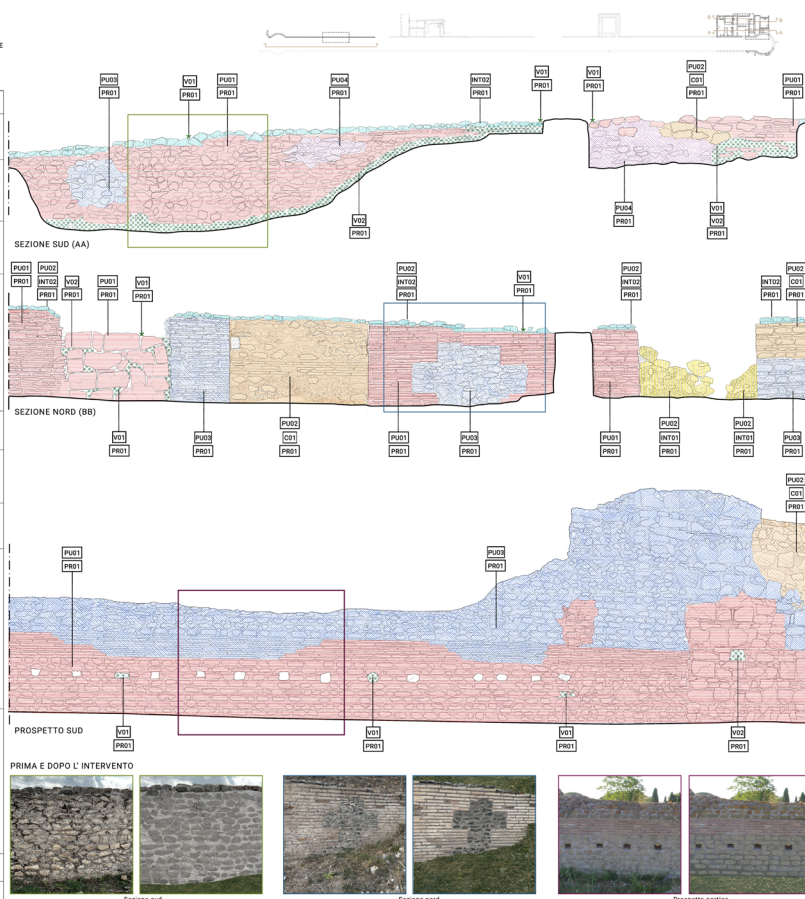


Fig. 7: Interventi da eseguire sul degrado.

di integrare conoscenze storiche, dati tecnologici e pratiche conservative. La combinazione di rilievo digitale, analisi stratigrafiche, studio del degrado e simulazioni conservativi consente di costruire una rappresentazione integrata e dinamica del patrimonio, favorendo la cooperazione tra archeologi, conservatori, storici dell'arte e progettisti.

In conclusione, l'HBIM rappresenta oggi una risorsa fondamentale per la gestione del patrimonio culturale, offrendo nuove opportunità per la tutela, la valorizzazione e la fruizione dei siti storici. La sperimentazione sulla Villa dei Quintili, con la sua metodologia integrata e il suo approccio dinamico, costituisce un modello esemplare di gestione digitale del patrimonio, trasformando il BIM in un strumento vivo, in grado di accompagnare la ricerca, la conservazione e la fruizione verso un futuro sostenibile e partecipato.

Bibliografia

Ashby, T. (1909). *La villa dei Quintili*. Ausonia.

Frontoni, R., Galli, G., & Paris, R. (Eds.). (n.d.). *Via Appia, Villa dei Quintili, Santa Maria Nova*. Feltrinelli.

Frontoni, R., Galli, G., Lalli, C., & Paris, R. (2016). Dalla villa al casale: Attività produttive nella villa dei Quintili. In A. Molinari, R. Santangeli Valenzani, & L. Spera (Eds.), *Archeologia della produzione a Roma (secoli V-XV): Atti del convegno internazionale di Studi* (Roma, 27-29 marzo 2014) (pp. xx-xx). Roma.

Frontoni, R., Galli, G., Lalli, C., Pettinau, B., & Rondoni, A. (2006). *Quintiliorum praedium*. In *Lexicon Topographicum Urbis Romae. Suburbium* (Vol. IV, pp. xx-xx). Roma.

Frontoni, R., Galli, G., Paris, R., & Rotondi, A. (2012). *Roma 1985-2011: Tutela e valorizzazione della villa dei Quintili*. *Forma Urbis*, XVII(2), 1-xx.

Frontoni, R. (2000). *Il cantiere antico a Villa dei Quintili*. *Forma Urbis*, V(7/8), 1-xx.

Paris, R. (Ed.). (2000). *Via Appia, Villa dei Quintili*. Electa.

Ricci, A. (Ed.). (1998). *La Villa dei Quintili: Fonti scritte e fonti figurate*. Lithos.

INNOVACIÓN Y CONSERVACIÓN: IMPLEMENTANDO HBIM EN LA FORMACIÓN UNIVERSITARIA

Innovation and conservation: Implementing HBIM in university education

Authors

Agustín A. Clavero¹, Francisco Somoza¹, Jan Heinrich¹

¹ Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires. CSH Arquitectura.

Email

agustin.clavero@csh-arq.com / agustinandresclavero.334a@fadu.uba.ar
francisco.somoza@csh-arq.com / franciscosomoza.624a@fadu.uba.ar
jan.heinrich@csh-arq.com / janheinrich.031a@fadu.uba.ar

Keywords

HBIM
CONSERVATION
UNIVERSITY EDUCATION
DIGITAL RECONSTRUCTION
INTERVENTION

Abstract

La formación de la nueva generación de arquitectos requerirá integrar herramientas digitales y poner en debate temáticas patrimoniales. Este trabajo analiza la implementación del HBIM en tres proyectos universitarios, destacando su potencial en la preservación e intervención del patrimonio local.

El enfoque adoptado combina el relevamiento digital, modelado 3D y simulaciones de conservación, resaltando la importancia de la metodología HBIM para la inclusión del patrimonio en el ámbito educativo. A través del uso de modelos digitales, se optimizaron estrategias de restauración, documentación y mantenimiento preventivo. Los resultados muestran un impacto positivo en la precisión del análisis histórico, fomentando propuestas más sostenibles y respetuosas con el patrimonio histórico.

The training of the new generation of architects will require the integration of digital tools and engagement in debates on heritage-related topics. This study analyzes the implementation of HBIM in three university projects, highlighting its potential in the preservation and intervention of local heritage.

The adopted approach combines digital surveying, 3D modeling, and conservation simulations, emphasizing the importance of the methodology for including heritage in the educational field. Through the use of digital models, strategies for restoration, documentation, and preventive maintenance were optimized. The results show a positive impact on the accuracy of historic analysis, fostering more sustainable and respectful proposals to the historical heritage.

Introducción

Como estudiantes de Arquitectura no es habitual encontrarnos con proyectos que involucren edificios de valor patrimonial durante nuestra formación. Y cuando estos aparecen, suelen abordarse desde enfoques tradicionales, apoyados principalmente en herramientas analógicas. Sin embargo, en un contexto atravesado por tecnologías digitales, estos métodos resultan limitados para comprender y preservar el patrimonio con la precisión y responsabilidad que requiere.

Entendiendo esto, asumimos un desafío poco común en los espacios de formación académica: desarrollar proyectos de intervención sobre edificios de interés patrimonial y hacerlo bajo metodología HBIM que nos permita un análisis preciso y una mejor intervención.

Este trabajo presenta la experiencia de un proyecto universitario realizado en 2024 en la Universidad de Buenos Aires, en el marco de la materia *Diseño Arquitectónico III*¹. Este proyecto está enfocado en su conservación y puesta en valor, combinando teoría, práctica y técnica.

El proyecto se desarrolló en el *entorno de la Estación Hipólito Yrigoyen (APH N°7)*, proyectando un Mercado de Diseño en Barracas.

Este caso presenta valor histórico y cultural, pero también particularidades técnicas y contextuales que exigieron una mirada sensible, amplia y crítica, proyectando intervenciones posibles, sostenibles y respetuosas.

Metodología

La metodología implementada se basó en tres ejes principales: una investigación integral, un relevamiento técnico y modelado digital, y una propuesta estratégica.

En la primera etapa se estudiaron fuentes históricas, registros catastrales, antecedentes fotográficos y referencias urbanas. Este análisis nos permitió comprender el edificio no solo como objeto material, sino como parte de un relato urbano, social y cultural.

Tras entender el caso y poder definir una valoración, se realizaron relevamientos digitales utilizando diferentes técnicas según la disponibilidad de cada caso: en Barracas se utilizaron catastros antiguos y registros fotográficos, además de documentación original y revelamiento manual, brindándonos tanto datos geométricos como materiales y técnicos.

Toda la información resultante de la adquisición de datos se coordinó en un entorno común de datos, organizado en la plataforma OneDrive, haciendo

posible que los tres estudiantes pudiéramos trabajar en simultáneo. Se generó un modelo del edificio y se enriqueció con los datos históricos, materiales originales e identificación de añadidos, para poder realizar una propuesta de intervención.

La metodología HBIM, dentro de este contexto, no fue utilizada como fin en sí mismo, sino como medio para tomar mejores decisiones. Nos permitió visualizar alternativas de intervención, simular cambios, detectar posibles problemas, y sobre todo, entender el edificio como un sistema complejo de capas históricas, técnicas y simbólicas.

Rigurosidad

En primer lugar, logramos documentar y representar de manera precisa edificios patrimoniales con características diversas. La intervención logró resultados muy precisos en sectores pequeños y con una arquitectura sencilla. Esto nos permitió proponer una puesta en valor que recupere su esencia original e introduzca nuevos usos mediante una intervención mínima pero rigurosa (Fig. 1).

Relevamiento

La metodología fue adaptada tanto al caso específico como al nivel universitario requerido, lo que nos permitió iniciar el proceso con una mirada integral. Comenzamos por recopilar información histórica, cultural y material, comprendiendo también su entorno y su evolución dentro del tejido urbano. En paralelo, realizamos un relevamiento digital con los recursos disponibles, enfrentando el desafío de la falta de herramientas avanzadas y el acceso limitado al edificio.

Análisis histórico

Para resolver esta limitación, recurrimos a imágenes aéreas, antiguos catastros y fuentes documentales diversas, con las que reconstruimos la evolución histórica del sector. Esta reconstrucción no fue un ejercicio anecdótico, sino que nos ayudó a tomar decisiones más informadas, evitando simplificaciones. Esta etapa inicial sentó las bases para todo el desarrollo posterior.

Este proceso nos permitió generar una valoración patrimonial que luego fue integrada en un entorno colaborativo digital, permitiendo contrastar fuentes, evaluar deterioros y proyectar intervenciones.

Análisis material y de patologías

Una vez consolidada la información general, se realizó el análisis de materiales que nos permitió comprender la estructura, cuales eran sus limitantes, y las posibles re-funcionalizaciones que podía llegar a tener en el proyecto. Si bien el edificio no presentaba un estado de degradación estructural

¹ Universidad de Buenos Aires. FADU. Catedra *Arrese+Álvarez*, a cargo de Arq. *Alberto Álvarez*, J.T.P. Arq. *Pablo Díez*, Arqta. *Verónica Re*

crítica, se analizaron las patologías en sus fachadas identificando posibles problemas presentes en el resto del conjunto.

Intervención

El uso de la metodología introdujo una sistematización del trabajo. Cada decisión en el proyecto fue tomada en base a un criterio común, lo que nos permitió avanzar con organización.

La rigurosidad del proyecto fue adaptable a diferentes circunstancias: en las áreas donde disponíamos de información precisa, logramos un alto nivel de detalle y control.

En cambio, en otras, como el análisis de patologías, fue necesario ajustar el nivel de exigencia a lo que realmente podía lograrse con los recursos disponibles.

Versatilidad

Por otro lado, la metodología se pudo aplicar a diferentes niveles de complejidad que variaban según su tamaño, dificultad, grado de protección y afectación. El conjunto de edificios que conforman el Mercado de Diseño se presentó como un complejo heterogéneo, muy amplio y con muchos estratos históricos, de todos modos la versatilidad de la metodología nos permitió realizar nuestra tarea sin que esto represente un obstáculo. En el Mercado se propuso una refuncionalización orientada a la producción, exhibición y venta de diseño contemporáneo, integrando usos mixtos sin perder el carácter ferroviario-industrial del edificio (Fig. 2).

Tamaño

El proyecto abarca con una superficie total de aproximadamente 20.000 m², distribuidos en galpones de gran escala. Cada uno tiene características estructurales y espaciales distintas, lo que dificultó su integración dentro de un único sistema proyectual. Desde el inicio, el desafío fue articular esas unidades originalmente independientes para albergar un nuevo programa común.

La propuesta consistió en generar una estructura de madera con columnas metálicas capaz de adaptarse a los espacios existentes sin imponerse sobre ellos, uniéndolos mediante zonas comunes. El uso de la metodología fue fundamental para entender este proceso de forma integral. Nos permitió modelar cada elemento con su lógica particular, pero también vincularlos en un sistema integrado, resolviendo con precisión los encuentros, las diferencias de altura, y las necesidades espaciales compartidas.

Grado de protección e intervención

El proyecto de intervención propone mantener la estructura original y su esencia industrial,

conservando fachadas, y la espacialidad propia de cada nave. En lugar de anclarse sobre lo existente, se optó por un sistema que pudiera coexistir, generando un diálogo entre ambas instancias sin superposición estructural ni competencia formal.

El uso de HBIM permitió trabajar con un alto nivel de detalle en las zonas de encuentro entre lo nuevo y lo existente, incluso en un contexto de bajo grado de protección. Aun así, la metodología demostró su capacidad para adaptarse también a escenarios con mayores restricciones patrimoniales, donde la posibilidad de intervención es más limitada y se requiere mayor precisión y rigurosidad en el análisis.

Grado de deterioro

Al momento de la intervención, los edificios presentaban un deterioro considerable. Si bien las estructuras principales mantenían su integridad, muchos elementos secundarios y cerramientos estaban en mal estado. Ante esta situación, se diseñó una estrategia que priorizara la conservación de lo recuperable y la sustitución de lo degradado.

Esta estrategia permitió representar el estado real de cada galpón y organizar el trabajo por etapas, según el nivel de conservación. Esta planificación evitó intervenciones innecesarias y maximizó el aprovechamiento de lo existente. La trazabilidad del modelo facilitó el monitoreo de las decisiones y el mantenimiento, adaptando el proyecto a la realidad constructiva.

Complejidad

La posibilidad de abarcar una preexistencia de alto nivel de complejidad proyectual fue otra de las grandes ventajas del uso de HBIM. Se pudo identificar y modelar con precisión las etapas históricas, patologías y materialidades. Esta información permitió proyectar en un marco tan amplio, sin perder el detalle de cada particularidad. Además, HBIM facilitó la coordinación entre todas las disciplinas que participaron del proyecto, evitando superposiciones y errores, y permitiendo un trabajo simultáneo y eficiente.

Efectividad

Por último, identificamos que esta estrategia aporta eficiencia al proceso en todas sus etapas, desde el análisis hasta su difusión. En el proyecto, la metodología nos permitió gestionar datos muy diversos de manera eficiente, desde un relevamiento manual hasta fotografías antiguas (Fig. 3).

Análisis

Esta metodología permitió analizar con más profundidad los aspectos constructivos del edificio. A partir del modelo, pudimos observar en detalle la

evolución histórica, detectar patologías, comprender las materialidades y planificar intervenciones respetuosas con lo existente. Esta herramienta nos brindó una aproximación más precisa a la realidad de la obra, permitiéndonos tomar decisiones con criterio y no intervenir de forma agresiva. Al trabajar con precisión sobre lo preexistente, fue posible ajustar el proyecto a las condiciones reales del edificio, algo que hubiera sido mucho más difícil con métodos tradicionales.

Coordinación

Una de las principales ventajas de la metodología HBIM es la mejora en la coordinación entre disciplinas y profesionales. En nuestro caso, permitió el trabajo simultáneo mediante archivos vinculados, dividiendo el proyecto en archivos independientes correspondientes a diferentes sistemas técnicos. Cada parte fue modelada por separado, pero integrada en un archivo maestro que reunía toda la información. Esta metodología no solo facilitó el trabajo en equipo, sino que también permitió que cada profesional pueda enfocarse con mayor profundidad en su área, manteniendo siempre una visión integral del conjunto.

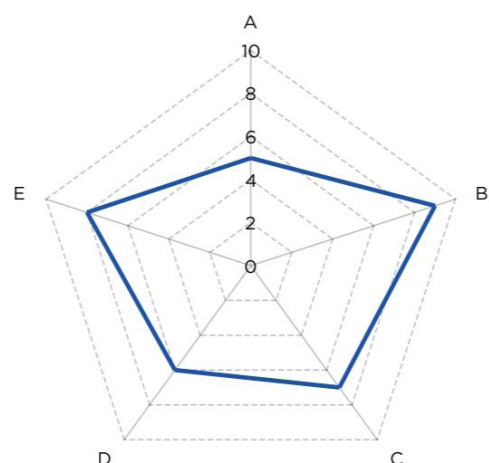
Proyección

A diferencia de metodologías tradicionales, HBIM nos permitió trabajar de forma integral desde el inicio. En lugar de representar mediante dibujos 2D a los edificios, trabajamos modelándolos paramétricamente obteniendo una versión digital del edificio real. Esto ahorra tiempo y permite alcanzar un mayor nivel de detalle desde las primeras etapas. Cada modificación que se realiza se ve automáticamente reflejada en cada una de las vistas del mismo, garantizando coherencia y evitando errores. Así, cada ajuste fue más ordenado y no requirió replantear el proyecto en cada instancia. La precisión y agilidad de esta forma de proyectar fue uno de los puntos clave para alcanzar buenos resultados en poco tiempo.

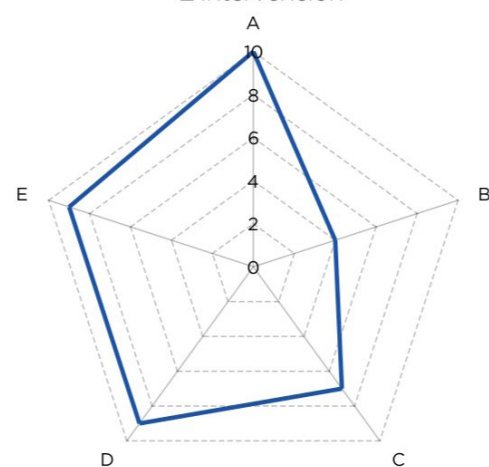
Gestión

A lo largo del proceso comprendimos que el uso del programa Revit dentro del enfoque HBIM necesita una estrategia clara, definida previamente en el BEP (BIM Execution Plan). En una primera etapa, se procuró trabajar de forma general, sin detenerse en detalles complejos, lo que permite obtener resultados iniciales rápidamente. Luego, se avanza a una segunda etapa donde se resuelven problemas constructivos, se modela con precisión y se caracterizan los elementos preexistentes.

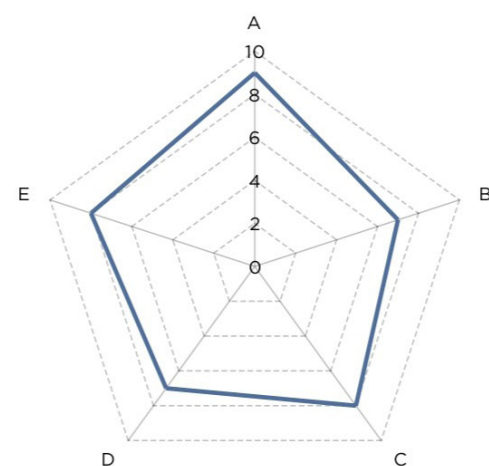
De este modo, se consolida el concepto principal antes de complejizar sin perder la coherencia general. Esta forma de organizar el trabajo nos ayudó a cumplir con los plazos y a mantener el control



Rigurosidad
A Relevamiento, B Análisis histórico,
C Material, D Patologías,
E Intervención



Versatilidad
A Tamaño, B Grado de protección,
C Grado de intervención, D Complejidad,
E Grado de deterioro



Efectividad
A Análisis, B Coordinación,
C Proyección, D Gestión,
E Difusión

Fig. 1-3: Comparativa del resultado de la aplicación del HBIM en los diferentes proyectos.

del proyecto. Además, el modelado con información posibilita obtener tablas, gráficos y fichas directamente a partir del modelo, lo que agiliza su gestión.

Difusión

Por último, otra ventaja del HBIM es la posibilidad de mostrar el proyecto de manera clara, incluso para personas sin formación técnica. El modelo 3D permite visualizar el edificio de una manera mucho más directa que los planos en 2D. Esto mejora la comunicación con clientes, asesores y otras personas involucradas, al poder mostrar el proyecto de forma más visual y concreta. Presentar el modelo completo lo vuelve más accesible y atractivo para todo tipo de público, favoreciendo así la difusión del patrimonio, impulsando su cuidado y protección (Figg. 4-5).

digitales como HBIM no solo fueron útiles, sino también fundamentales para vincular lo técnico con lo simbólico, lo académico con lo profesional, y lo histórico con lo posible.

Conclusión

Realizar este desafío nos permitió desarrollar habilidades que normalmente no se enseñan en la formación tradicional: nos enfrentamos al uso de software BIM, al trabajo colaborativo, al manejo de documentación técnica compleja y al desafío de integrar tecnología, historia y diseño. También nos facilitó la toma de decisiones de proyecto gracias a que contamos con mayor cantidad de información, organizada y confiable logrando una mayor comprensión del proyecto que se tradujo en una postura más rigurosa y reflexiva, guiándonos hacia intervenciones más responsables y respetuosas.

Entendiendo nuestra posición como estudiantes, esta experiencia nos permitió entender el patrimonio desde un lugar activo, proyectual y contemporáneo. No se trató solo de estudiar edificios antiguos, sino de proyectar cómo pueden seguir vivos, funcionales y siendo valorados en el tiempo que nos toca habitar. Y en ese proceso, las herramientas

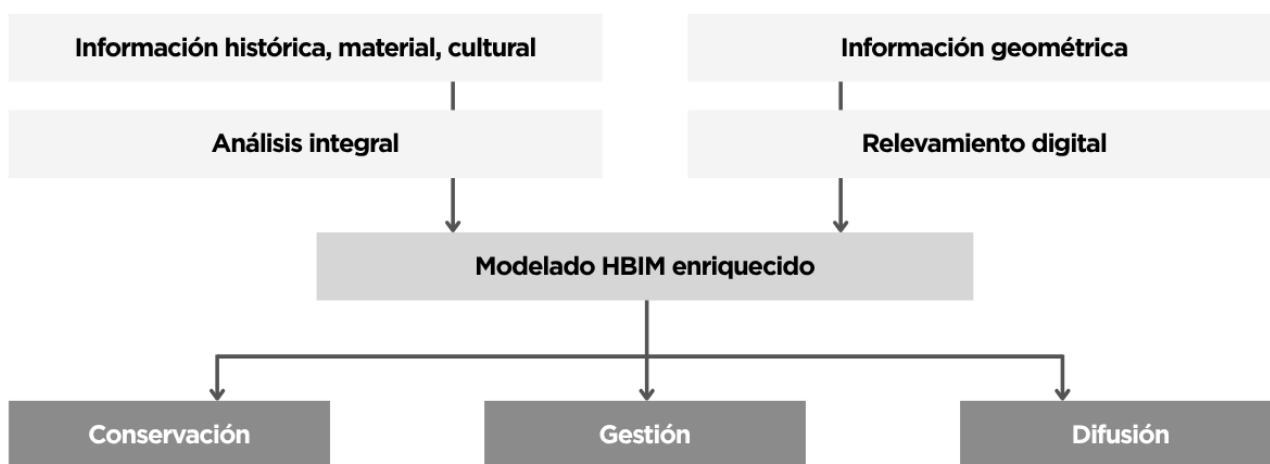


Fig. 4: Esquema simplificado de metodología HBIM utilizada.



Fig. 5: Visualización directa del edificio.

Bibliografía consultada

Clavero, A., & Somoza, F. (June 2024). Propuesta para Mercado de Diseño en Barracas: Investigación, intervención y proyecto para Arquitectura III, Arq. J. Chiterer, Arq. C. Mirande, Arq. P. Diez, Cátedra Arrese+Álvarez. Colaboración Heinrich, J.

Gazaneo, J. O., & Scarone, M. M. (1966). *Arquitectura de la Revolución Industrial*. Instituto de Arte Americano e Investigaciones Estéticas.

González, L., & Barela, L. (2015). *Barracas: Esencia de barrio porteño*. Dirección General Patrimonio e Instituto Histórico.

Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (n.d.). *Ciudad 3D*.

<https://ciudad3d.buenosaires.gob.ar>

RICOSTRUIRE IL MEDIOEVO: TRE CASI STUDIO

Reconstructing the Middle Ages: Three Case Studies

Authors

Rinaldo D'Alessandro

Sapienza Università di Roma

Email

rinaldo.dalessandro@uniroma1.it

Keywords

VIRTUAL RECONSTRUCTION
DIGITAL HERITAGE
SAMBUCINA ABBEY
FONTELAURATO ABBEY
COSENZA CATHEDRAL

Abstract

Il contributo intende analizzare il tema delle ricostruzioni virtuali di edifici medievali nell'ottica dello studio della storia dell'architettura. Si presenteranno tre casi selezionati non solo per rappresentare differenti contesti fisici, ma, soprattutto, per il diverso livello di completezza della documentazione disponibile, elemento determinante ai fini della determinazione dell'aspetto originario delle architetture. Il presente lavoro intende mostrare come anche partendo da condizioni molto differenti sia possibile ottenere risultati tra loro confrontabili.

This paper examines the issue of virtual reconstructions of medieval buildings from the perspective of architectural history. The three case studies considered here were selected not only to represent distinct physical contexts but, more importantly, to illustrate different levels of completeness in the available documentation, a crucial factor for the reconstruction of the original appearance of the architecture. The aim is to demonstrate how, despite such disparate initial conditions, it is nevertheless possible to achieve comparable outcomes.

Introduzione

La rapida evoluzione degli strumenti di rappresentazione digitale dell'architettura ha comportato l'utilizzo di ricostruzioni tridimensionali di edifici scomparsi o manomessi. Tale pratica ha trovato un suo particolare sviluppo in ambito archeologico [AA. VV., 2009; Benedetti et al., 2010; Borgnini, Carlini, 2011; Gianolio, 2012; Giammusso, 2014], settore in cui si è significativamente passati dalle vedute e dai disegni a colori, propri di un approccio al limite del romantico, agli scarni schemi ricostruttivi 2D, fino alle ricostruzioni fotorealistiche che comprendono anche esperienze di realtà aumentata o immersive. L'utilità di tali restituzioni digitali per la storia dell'architettura è stata ampiamente espressa focalizzandosi sulla necessità di valutare gli edifici del passato nel proprio assetto originario comprendente i valori spaziali, cromatici, luministici o addirittura sonori e olfattivi [Viscogliosi, 2015].

L'impiego della modellazione 3D comporta la ricostruzione virtuale dell'oggetto d'indagine, consentendo così di verificare le ipotesi ricostruttive formulate. Questo passaggio risulta cruciale negli studi storici poiché, se applicato correttamente, permette di adottare un procedimento scientifico di validazione di differenti scenari, riducendo le incertezze legate all'assenza di una visione tridimensionale complessa dell'architettura. Un simile risultato sarebbe difficilmente raggiungibile mediante elaborati bidimensionali. In questa prospettiva, infatti, anche nel campo della progettazione contemporanea, le normative prescrivono ormai l'uso obbligatorio di strumenti BIM, al fine di prevenire errori progettuali dovuti alla complessità degli edifici che altrimenti emergerebbero soltanto durante la costruzione stessa. Per quanto possa sembrare paradossale, inoltre, l'ambito della progettazione non è così lontano da quello delle ricostruzioni virtuali, tanto che ci si è già riferiti al processo conducente alla comprensione dei meccanismi progettuali utilizzati da un architetto del passato come "reverse designing" [Adembri et al., 2015]¹.

Tuttavia, non tutte le ricostruzioni virtuali sono adeguate ad ottenere modelli atti a validare

un'ipotesi di lavoro. L'affidabilità di quanto ottenuto, infatti, dipende in maniera sostanziale dal procedimento seguito nell'elaborazione del modello stesso. In tale ottica sono due i fattori essenziali di cui occorre tener conto: il metodo e le informazioni di partenza.

La metodologia utilizzata deve necessariamente basarsi sul rilievo scientifico dei resti conservatisi [Bianchini et al., 2014] integrando i dati desumibili dalla realtà materiale con quelli documentari, al fine di ottenere il massimo approfondimento possibile. La modellazione va, in altri termini, fondata su un rilievo 3D (laser scanner o fotogrammetrico). Soltanto in tal modo il modello ricostruttivo può assumere un valore di verifica sull'esistente. Tale procedimento sostanzialmente è aderente alle operazioni di modellazione Scan-to-BIM. La documentazione va, invece, analizzata e studiata con i metodi propri della storia dell'architettura.

I dati disponibili in partenza risultano un elemento estrinseco alla metodologia seguita e condizionano la possibilità stessa di ricostruire l'aspetto originario dell'edificio secondo progressivi stadi di approfondimento.

Il presente contributo intende analizzare tre strategie tenute in condizioni profondamente diverse per mostrare come, pur da punti di partenza differenti, sia possibile arrivare a ricostruzioni confrontabili e utili in ottica storica. Si analizzeranno quindi tre casi studio:

- il primo, concettualmente il più semplice, ha comportato la ricostruzione dell'aula della chiesa abbaziale di Fontelaurato che conserva le strutture medievali anche se con aggiunte e modifiche. Il modello si configura, quindi come una sorta di edizione critica dell'edificio stesso 'ripulito' dalle superfetazioni.
- Il secondo, inerente all'aula della chiesa abbaziale di Santa Maria della Sambucina, prende in considerazione un edificio fortemente danneggiato e conservatosi solo parzialmente, di cui la documentazione fornisce poche indicazioni.
- Il terzo, quello dell'abside della cattedrale di Cosenza, mostra la ricostruzione di una porzione di edificio oggi totalmente scomparsa, ma documentata.

L'aula della chiesa abbaziale di Santa Maria di Fontelaurato

La chiesa abbaziale di Fontelaurato (XIII secolo), vista la sua posizione isolata, ha mantenuto pressoché integre le sue strutture medievali. Tuttavia, le porzioni originarie sono state modificate o obliterate da più tardi rifacimenti. In particolare, l'attuale

¹ Il metodo consiste nell'immedesimazione nelle modalità progettuali utilizzate dagli architetti del passato, finalizzata alla ricostruzione del processo creativo e realizzativo di un'architettura, con attenzione alle problematiche specifiche della singola costruzione e più generali del costruire. Un approccio di tal genere è risultato particolarmente utile già nella ricostruzione della personalità di Donato Bramante proposta in [Bruschi, 1969; Id. 1990]. I seriori studi, specie in ambito archeologico, hanno approfondito tale metodologia d'indagine includendovi le caratteristiche geometriche e costruttive delle costruzioni [Adembri et al., 2016]. Si tratta, in sostanza, di una prassi prossima a quella dell'archeologia sperimentale [Coles, 1973; Godino et al., 2020].

altare barocco nasconde tre finestre absidali, alcune bucatore poste sulla parete sopra l'abside risultano tamponate, due porte laterali alla crociera sono state murate e la struttura lignea del tetto è stata interamente rifatta (Fig. 1)². Partendo dallo studio dell'edificio e da un rilievo fotogrammetrico realizzato mediante l'uso del drone si è quindi proposta la ricostruzione dell'aula medievale eliminando gli elementi aggiunti.

La modellazione 3D si è essenzialmente basata sull'esame autoptico della fabbrica e ha condotto a ricostruire le due fasi esistenti nelle bucatore sovrapposte all'abside (Fig. 2,3). Il risultato è la restituzione della percezione originaria dello *chevet* della chiesa, la cui configurazione medievale si caratterizza per l'uso calibrato della luce, derivante dalla rigorosa disposizione geometrica delle aperture sulla parete di fondo.

In tale operazione, non si è potuto tenere conto degli arredi liturgici, quali il coro e il tramezzo, certamente presenti nel medioevo, su cui, però, manca qualsiasi fonte utile. La modellazione 3D ha, inoltre, mostrato come riproponendo una struttura del tetto della crociera prossima all'attuale le finestre sull'arco santo sarebbero state celate dalle capriate.

2_ Per un approfondimento sulla fabbrica, cfr. [Martelli, 1950; Id. 1956; D'Adamo, 1980; Arena, 1972; Albano, 2003; D'Alessandro, 2024c; Id. 2025].



Fig. 1: Fiumefreddo Bruzio (CS), chiesa abbaziale di Santa Maria di Fontelaurato, veduta della navata verso il presbiterio (foto dell'autore).



Fig. 2: Ricostruzione virtuale dell'interno della chiesa di Fontelaurato con la prima fase costruttiva delle finestre sulla parete sopra l'abside (elaborazione dell'autore).



Fig. 3: Ricostruzione virtuale dell'interno della chiesa di Fontelaurato con la seconda fase costruttiva delle finestre sulla parete sopra l'abside (elaborazione dell'autore).

Ricostruendo una copertura sul modello delle chiese "ad archi diaframma", invece, le bucatore risulterebbero visibili. In tal senso, quindi, la modellazione e la visualizzazione delle differenti opzioni hanno consentito la comprensione di un aspetto problematico del progetto originario.

L'aula della chiesa abbaziale di Santa Maria della Sambucina

L'abbaziale cistercense della Sambucina (XII-XIII secolo) ha subito continui crolli dovuti a fondazioni inidonee che ne hanno fortemente compromesso la conservazione [Peronace et al., 2009]. Oggi non ne restano che il coro piatto centrale, l'area antistante con due arconi un tempo aperti sui bracci del transetto e una campata della nave centrale dalle arcate murate (Fig. 4)³. Lo stato estremamente frammentario consente comunque la

3_ Per il completo inquadramento storico e architettonico dell'edificio, cfr. [Martelli, 1956; Pratesi, 1958; Ugliano, 1978; Zinzi, 1999, pp. 27–34; D'Alessandro, 2024b].

ricostruzione delle strutture originarie anche grazie alle risultanze di uno scavo archeologico che ha chiarito l'estensione delle strutture⁴.

La ricostruzione 3D (fig. 5) è stata elaborata a partire dai dati ricavati dal rilievo fotogrammetrico di quanto resta. Rimangono, tuttavia, di natura ipotetica sia le proporzioni dell'alzato che la configurazione tipologica delle aperture delle navi, per le quali si è convenzionalmente assunto come riferimento il modello delle finestre del coro. Le imposte dei pilastri sono state modellate sulla base dei lacerti murari conservati lungo il fianco sinistro dell'attuale fabbrica. Analogamente, la morfologia delle basi è stata ricostruita attraverso la foto di un saggio di scavo [Ugliano, 1978, p. 56, fig. 50] e di alcune porzioni ancora *in situ*.

La disposizione delle bucatore del cleristorio della navata centrale è stata calibrata secondo una soluzione analoga a quella riscontrabile nell'abbaziale delle Tre Fontane, architettura già affiancata a quella in oggetto, caratterizzata dall'assenza di

4_ Lo scavo effettuato da Gisberto Martelli non è mai stato pubblicato, ma una pianta desunta dalle sue risultanze è edita in [Ugliano, 1978, p. 84].



Fig. 4: Luzzi (CS), chiesa abbaziale di Santa Maria della Sambucina, veduta dello stato attuale dell'interno (foto dell'autore).



Fig. 5: Ricostruzione virtuale dell'interno della chiesa della Sambucina, veduta dalla nave centrale verso il presbitero (elaborazione dell'autore).

monofore in corrispondenza degli archi di accesso ai bracci del transetto. Non può essere esclusa a priori la presenza originaria di ulteriori aperture sulla parete sovrastante il coro maggiore ma, in mancanza di dati espliciti, nella proposta ricostruttiva si è preferito mantenere la parete priva di bucatore. Con analogo criterio, in assenza di evidenze materiali, anche in questo caso non sono stati inseriti gli arredi liturgici, benché la loro originaria presenza appaia indubbia e determinante nel definire la qualità spaziale dell'aula liturgica.

Il metodo seguito nella ricostruzione, partendo dal rilievo, ha chiarito l'impossibilità dimensionale di inserire un arco trionfale alla fine della navata in corrispondenza del transetto, conducendo così al disvelamento di un inedito impianto dell'edificio privo di crociera centrale che trova importanti confronti in coeve esperienze del mondo cistercense.

L'abside della Cattedrale di Cosenza

L'abside centrale duecentesca della cattedrale cosentina venne demolita già nel XVI secolo causando notevoli problemi alla comprensione della morfologia della fabbrica medievale. Giuseppe Pisanti, autore del restauro in stile della chiesa nel XIX secolo, sostenne di aver ricostruito l'abside secondo le tracce dei resti medievali che avrebbe trovato. La ricostruzione comportò, tuttavia, per

stessa ammissione del suo autore, l'aggiunta di una campata voltata a crociera. L'attuale abside neo-medievale, quindi, si trova più indietro rispetto alla sua collocazione originaria (Figg. 6,8)⁵. I successivi scavi archeologici effettuati nell'area [Martelli, 1950; Papparella, 2018; Roma, Papparella, 2018] hanno rinvenuto i resti delle fondazioni e del primo filare di blocchi dell'abside originaria definendone planimetria e collocazione. L'analisi di tutte le fonti archivistiche sui restauri ottocenteschi ha mostrato la consistenza dei resti ritrovati da Giuseppe Pisanti, individuando gli elementi effettivamente superstiti, ovvero tutti i resti delle modanature absidali poste all'attacco con la parte di fondo della chiesa. In particolare, l'analisi di due fotogrammi ha evidenziato, sul lato interno dei due semipilastri affiancati all'abside, l'inizio di due ghiera d'arco modanate e munite di capitelli [D'Alessandro, 2024a, pp. 257–258]. Tali elementi sono analoghi a quelli della ricostruzione del partito a finte finestre realizzato dal Pisanti per l'abside centrale. Tuttavia, unendo tale dato con le informazioni derivanti dalla planimetria archeologica e da fonti storiche risulta come l'abside presentasse un'alternanza di finte finestre e di reali bucatore. Le false aperture dovevano essere collocate in corrispondenza delle estremità dell'abside e dei contrafforti radiali. Per ragioni dimensionali resta lo spazio per ulteriori tre finestre di cui una in asse (Figg. 7,9). Queste osservazioni hanno consentito la ricostruzione anche dell'esterno dello *chevet* eliminando tutte le seriori superfetazioni (Fig. 10).

La ricostruzione dell'abside ha fornito la possibilità di visualizzare e indagare la fabbrica medievale nella sua morfologia originaria, favorendo in maniera determinante lo sviluppo degli studi sulla cattedrale. La modellazione tridimensionale dei contrafforti e delle finestre, dovendo tener conto del rapporto tra interno ed esterno dell'edificio e dei dati metrici, è stata decisiva nel ricostruire quante bucatore caratterizzassero effettivamente l'abside.

Conclusioni e prospettive di ricerca

I tre casi studio proposti mostrano come, pur nelle differenti contingenze, sia possibile ottenere ricostruzioni virtuali attendibili anche di architetture perdute. Il confronto tra le fotografie dello stato attuale e i render è eloquente circa il grado di modifiche subite dagli edifici e dunque, mette in evidenza la necessità di avere restituzioni digitali scientifiche, che si offrono come strumenti critici e interpretativi dello stato originario delle fabbriche, consentendo il confronto di specifiche fasi costruttive, al

5_ Per l'esame specifico della pluristratificata vicenda dell'abside cosentino sia consentito il rimando a [D'Alessandro, 2024a, pp. 89–98], ivi bibliografia precedente.



Fig. 6: Cosenza, cattedrale di Santa Maria Assunta, abside maggiore (foto dell'autore).



Fig. 7: Ricostruzione virtuale dell'abside maggiore della cattedrale di Cosenza (elaborazione dell'autore).



Fig. 8: Cosenza, cattedrale di Santa Maria Assunta, veduta verso il semipilastro sinistro della crociera (foto dell'autore).



Fig. 9: Ricostruzione virtuale del presbitero della cattedrale di Cosenza verso il semipilastro sinistro della crociera (elaborazione dell'autore).

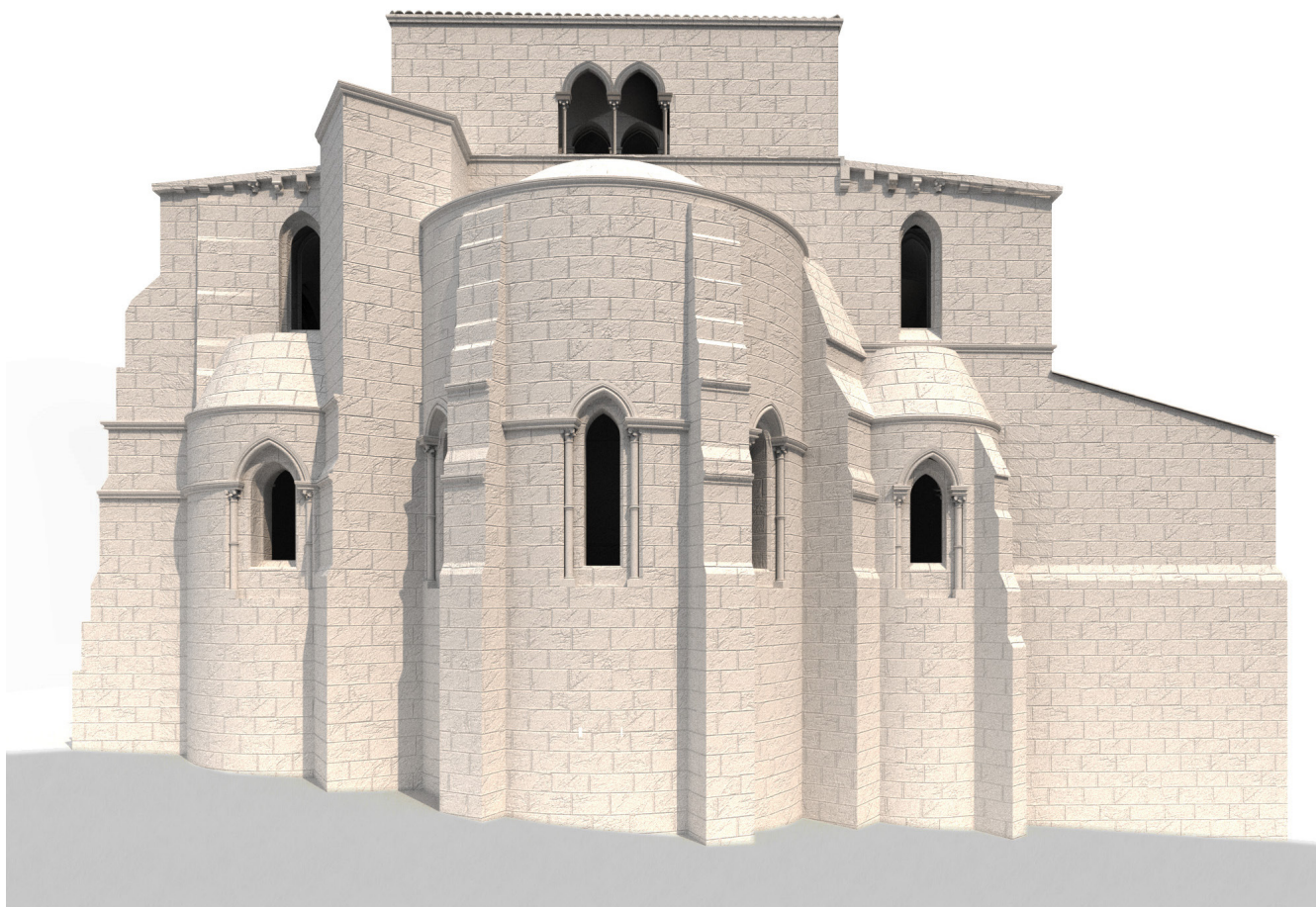


Fig. 10: Ricostruzione virtuale dell'esterno dello chevet della cattedrale di Cosenza (elaborazione dell'autore).

netto dei cambiamenti sopravvenuti. Naturalmente la validità dei modelli 3D è quasi totale (ad eccezione dei perduti arredi liturgici e delle finiture delle pareti) nel caso della semplice eliminazione delle aggiunte, mentre assume una certa problematicità quando sia necessario integrare porzioni mancanti. Tale complessità è intrinseca a qualunque tentativo di riproporre un'architettura perduta. Lo strumento digitale, tuttavia, offre un maggiore controllo su quest'operazione proprio in ragione del confronto con il rilievo e per via della metodologia seguita che presuppone la ricostruzione dell'edificio nella sua interezza, anche se in virtuale. In tale ottica una simulazione digitale costituisce uno strumento più affidabile di una veduta disegnata. È, infatti, lo stesso procedimento di modellazione a consentire verifiche su quanto ipotizzato. Il sempre maggiore sviluppo della tecnologia BIM potrà, inoltre, offrire maggiori garanzie di controllo e un procedimento più standardizzato che potrebbe ulteriormente rafforzare la validità e la ripetibilità di tale metodologia, pensata non solo come teleologica alla visualizzazione, ma soprattutto, come una prova sperimentale.

Bibliografia

AA. VV. (2009). *Archaeology and virtual environments: From excavation to virtual museum and web communities*. Alinea.

Adembri, B., Cipriani, L., Fantini, F., & Bertacchi, S. (2015). Reverse designing: An integrated method for interpreting ancient architecture. *SCientific RESearch and Information Technology*, 5(2), 15–21.

Adembri, B., Alonso-Durá, A., Juan-Vidal, F., Bertacchi, G., Bertacchi, S., Cipriani, L., et al. (2016). Modelli digitali 3D per documentare, conoscere ed analizzare l'architettura e la costruzione nel mondo antico: L'esempio della sala ottagonale delle piccole terme di Villa Adriana. *Archeologia e Calcolatori*, 27, 291–316.

Albano, M. (2003). L'abbazia fiorentina di S. Maria di Fontelaurato a Fiumefreddo Bruzio. In *Arte Medievale*, II, 55–70.

Arena, G. (1972). La chiesa di Fontelaurato e l'architettura fiorentina in Calabria. *Quaderno dell'Istituto Dipartimentale di Architettura e Urbanistica Università di Catania*, 4, 39–52.

Benedetti, B., Gaini, M., & Remondini, F. (Eds.). (2010). *Modelli digitali 3D in archeologia: Il caso di Pompei*. Edizioni della Normale.

Bianchini, C., Borgogni, F., Ippolito, A., & Senatore, L. J. (2014). Rilevare e rappresentare l'archeologia: Verso una sistematizzazione. In P. Clini (Ed.), *Vitruvio e l'archeologia* (pp. 147–172). Marsilio.

Borgnini, S., & Carlini, R. (2011). La restituzione virtuale dell'architettura antica come strumento di ricerca e comunicazione dei beni culturali: Ricerca estetica e gestione delle fonti. *DISEGNARECON*, 08, 7–79.

Bruschi, A. (1969). *Bramante architetto*. Laterza.

Bruschi, A. (1990). *Bramante*. Laterza.

Coles, J. (1973). *Archaeology by experiment*. Hutchinson University Library.

D'Adamo, C. (1980). Verifica su una tipologia ricorrente in alcune fondazioni fiorenti: Santa Maria di Fontelaurato, San Martino di Canale, Santa Maria della Gloria. In A. M. Romanini (Ed.), *Federico II e l'arte del Duecento italiano* (Vol. 1, pp. 175–189). Congedo Editore.

D'Alessandro, R. (2024a). *La Cattedrale di Cosenza: Accenti internazionali sull'architettura della Val di Crati*. Artemide.

D'Alessandro, R. (2024b). La chiesa abbaziale di Santa Maria della Sambucina, incunabolo cistercense in Italia meridionale. *Bollettino d'Arte*, 61–32, 33–54.

D'Alessandro, R. (2024c). Un raro schema d'impianto cistercense: Il 'transetto chiuso' e le chiese fiorenti. *Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura*, 79–80, 277–288.

D'Alessandro, R. (2025). L'abbaziale di Santa Maria di Fontelaurato: Cronologia, architettura e inquadramento nell'ambito delle prime fondazioni fiorenti. *Abside*, 7, 87–112.

Giammusso, F. M. (2014). La ricostruzione virtuale come strumento per l'analisi storica dell'architettura. *INFOLIO*, 31, 43–60.

Gianolio, S. (Ed.). (2012). *Archeologia virtuale: La metodologia prima del software*. Espera Srl.

Godino, Y., Lebole, C. M., & Di Gangi, G. (2020). Fornire la pratica che sostiene la teoria: Una riflessione sull'archeologia sperimentale. In *Archeologie sperimentali. Temi, metodi, ricerche*, 1, 1–27.

Martelli, G. (1950). Conclusioni sulla iconografia absidale originaria della cattedrale cosentina. *Calabria Nobilissima*, 3–4, 67–79.

Martelli, G. (1956). L'organismo architettonico fiorentino. *Archivio Storico per la Calabria e la Lucania*, 1–2, 63–70.

Papparella, F. C. (2018). La Cattedrale di Cosenza: Dalla consacrazione federiciana alla stratigrafia archeologica antica. *Fasti Online*, 11, 1–21.

Peronace, E., Galli, P., & Mugnozza, G. (2009). The decadence of the Sambucina Abbey (Calabria, Southern Italy): *Geological and historical hints*. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 32, 203–212.

Pratesi, A. (1958). *Carte latine di abbazie calabresi provenienti dall'Archivio Aldobrandini*. Biblioteca Apostolica Vaticana.

Roma, G., & Papparella, F. (2018). Il Duomo di Cosenza alla luce delle recenti indagini archeologiche: Alcune note preliminari. In E. Vitale & C. B. Rosa Maria (Eds.), *Studi in memoria di Fabiola Ardizzone Scavi, Topografia e Archeologia del paesaggio* (pp. 157–182). Antipodes.

Ugliano, R. (1978). L'abbazia di S. Maria di Sambucina. In *I Cistercensi e il Lazio* (pp. 83–89). Multigrafica Editrice.

Viscogliosi, A. (2015). Lo studio della Storia dell'Architettura fra tradizione e high-tech. *Disegnare Idee Immagini*, 51, 80–90.

Zinzi, E. (1999). *I Cistercensi in Calabria*. Rubbettino.

A COMPUTATIONAL APPROACH TO 'DRAWN' ARCHITECTURE: A DRAWING ENCODING INITIATIVE (DEI)

Authors

Elisabetta Caterina Giovannini

Department of Architecture and Design - DAD, Politecnico di Torino

Email

elisabettacaterina.giovannini@polito.it

Keywords

ANDREA PALLADIO
'DRAWN' ARCHITECTURE
SEMANTICS
VPL
HBIM

Abstract

Archives preserve thousands of architectural drawings that embody unbuilt visions and design reasoning. These documents represent a valuable but fragile category of heritage, drawn architecture, that exists only in representation, not in material form. This research introduces the Drawing Encoding Initiative (DEI), a methodology that employs Visual Programming Languages (VPL) and Heritage Building Information Modelling (HBIM) to encode the semantics of drawn architecture.

Introduction

Architectural archives and libraries safeguard vast collections of drawings, sketches, and plans that represent an overlooked form of heritage: projects conceived and designed but never built. This category, often referred to as unbuilt heritage, includes competition entries, visionary projects, utopian plans, and treatise illustrations. These works are more than visual documents. They embody the intellectual and cultural intentions of their authors and preserve fragments of design reasoning that never materialised in stone, brick, or mortar [Hollander, 1977].

Unlike built heritage, which endures as tangible artefacts, unbuilt heritage survives mainly through its representations. Plans, elevations, sections, and annotations provide evidence of stylistic experimentation and theoretical exploration. As scholarship increasingly acknowledges, the study of such documents reveals otherwise invisible processes of innovation.

The concept of drawn architecture emphasises the epistemological role of drawing. A drawing is not only an image; it is a codified language with its own grammar of proportions, conventions, and symbols that communicates complex ideas beyond the reach of words [Ching, 2023]. In architectural culture, the act of drawing has historically represented both an intellectual and a technical operation. Drawings combine multiple layers of representation: textual notes, orthographic projections, three-dimensional models, and, potentially, higher-order systems of structured knowledge [Giovannini, 2022].

Historically, treatises and competition entries preserved in archives constitute an extraordinary source of drawn architecture. From Renaissance codices and Baroque utopias to modernist projects that remained unbuilt due to political, economic, or technical constraints, these documents bear witness to the evolution of architectural thinking across the centuries. Vitruvian descriptions, Renaissance manuscripts, and Palladian treatises all exemplify how the medium of drawing structured architectural discourse. Each era introduced new modes of representation, shaping not only design practice but also the way knowledge was transmitted and interpreted.

The late twentieth century marked a decisive turning point in digital design. Computer-Aided Design (CAD) introduced precision and reproducibility to architectural practice, parametric design enabled flexibility and relational logics [Stiny & Gibbs, 1978], and Building Information Modelling (BIM) incorporated semantics and structured knowledge into three-dimensional models [Carpo, 2012; Caetano & Leitão, 2020]. These technological shifts profoundly transformed the way architects represent, analyse, and communicate

spatial ideas, moving from static drawings to dynamic and data-rich models. Since 2009 BIM approach was also used for documenting and representing historic buildings (HBIM) offering new perspectives for cultural heritage management and conservation [Murphy *et al.*, 2009; Lovell *et al.*, 2023].

A similar trajectory can be observed in the field of digital humanities, although with a different emphasis. Here, information technology has been primarily used to analyse documentary heritage through encoding systems, digital editions, and large-scale text or image corpora. Initiatives such as the Text Encoding Initiative (TEI) demonstrate how transcriptions and annotations can be structured into machine-readable resources that preserve and interpret cultural texts¹.

Architecture and the digital humanities thus share the same fundamental challenge—how to represent, organise, and interpret knowledge—but apply technological systems in different directions. While the humanities are primarily concerned with encoding and interpreting texts and images, with a focus on art history [Impett, 2024], architecture utilises computational frameworks to reconstruct and represent three-dimensional complexity.

Proposed solution

The Drawing Encoding Initiative (DEI) positions itself precisely at the intersection of these traditions. It extends the encoding logic of the digital humanities to architectural drawings, but simultaneously adopts architectural tools capable of representing spatial relationships and design grammars in 3D. In this way, DEI demonstrates how methodologies from distinct domains can converge to produce digital critical editions of architecture, combining the interpretive rigour of the humanities with the representational capacity of architectural practice.

By combining Visual Programming Languages and HBIM, DEI translates drawings into semantically enriched 3D models. Its novelty lies in its insistence on evidence-based encoding. Unlike artificial intelligence approaches, which may generate plausible but unverifiable forms, DEI builds reconstructions that are grounded in archival rules and proportions. This guarantees transparency, reproducibility, and accountability. Translating 'drawn' architecture into tangible and digitally accessible heritage offers new opportunities for the preservation and valorisation of documentary heritage and drawings.

In the digital age, digitising this fragile heritage poses unique challenges. Contemporary strategies for built heritage, such as laser scanning and photogrammetry, are effective in recording existing

1_ Text Encoding Initiative (TEI). Available at <https://tei-c.org/>

buildings but cannot capture projects that were never realised. In such cases, the building exists only on paper, requiring source-based methods that can extract and encode information directly from documentary evidence.

The Drawing Encoding Initiative (DEI) responds to this challenge. The method can be compared to the Text Encoding Initiative (TEI) in the humanities [Ciotti, 2018], which transforms manuscripts into digital critical editions. DEI extends this logic to architecture by linking graphic elements to semantic categories, thus ensuring that drawings are not only visualised but also interpreted and structured as data. In doing so, the initiative contributes to a broader vision of FAIR-compliant heritage digitisation [Wilkinson *et al.*, 2016], creating resources that are findable, accessible, interoperable, and reusable.

Finally, the DEI distinguishes itself from emerging AI-based generative imaging approaches, which can produce plausible but unverifiable reconstructions of unfinished architecture [Merino-Gómez *et al.*, 2023]. While AI tools generate statistical approximations and unverified errors, the DEI encodes architectural rules and archival evidence, delivering reconstructions that are

transparent, reproducible, and critically accountable. In this regard, it signifies a methodological advancement in digital heritage: one that not only visualises the past but reconstitutes architectural thinking into structured, reusable knowledge.

The comparison in Fig. 1 highlights the unique contributions of the DEI methodology within the broader landscape of digital heritage modelling. Traditional 3D modelling, though valuable for visualisation, depends on manual interpretation and offers limited semantic enrichment, making it less reproducible and only partially FAIR-compliant. AI generative tools, such as GANs and diffusion models, have recently been explored for architectural applications, yet their outputs remain speculative, visually plausible, but methodologically unverifiable. Conversely, the DEI integrates VPL and HBIM to develop algorithmic, rule-based workflows that are transparent, reproducible, and semantically enriched. In this way, it represents not only a methodological improvement over existing practices but also an epistemological shift: from image-based visualisations to digital critical editions of architecture, ensuring the FAIR management of ‘drawn’ architecture and documentary heritage.

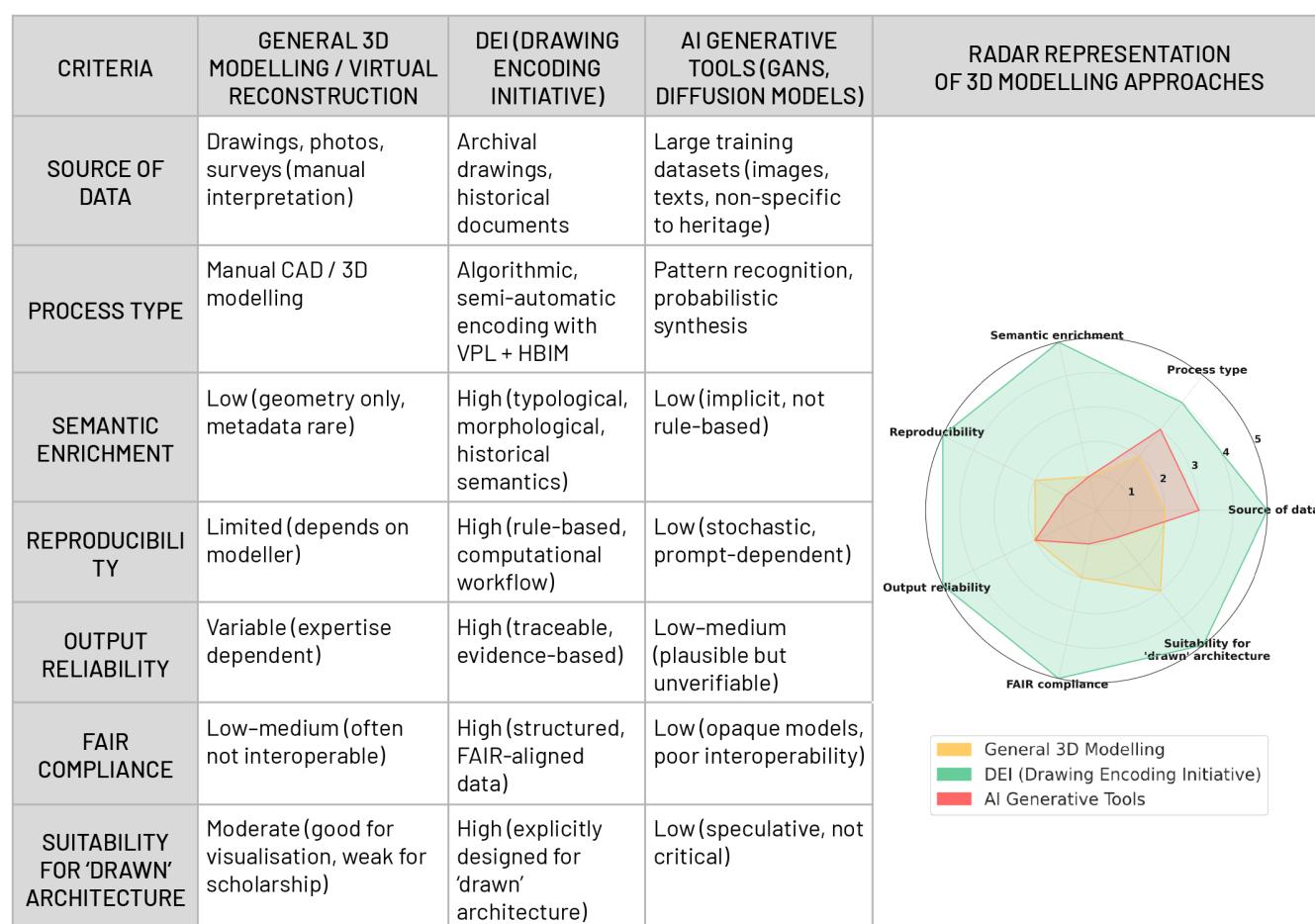


Fig. 1: Comparison of 3D Modelling Approaches

An integrated approach

Computational design tools such as Grasshopper (for Rhinoceros) and Dynamo (for Revit) have introduced new possibilities for algorithmic modelling. Within HBIM, these VPL environments allow architects and researchers to organise diverse data into structured workflows that can encode both geometry and semantics.

The DEI workflow integrates geometric modelling with semantic modelling. In the first phase, points, curves, and surfaces are extracted from digitised drawings through algorithms capable of reconstructing proportions and alignments. Once the geometric base is defined, it is enriched with meaning by classifying the elements into typological, constructive, and stylistic categories, thereby turning them into HBIM objects.

Archival drawings pose specific difficulties. Unlike modern technical plans, they often lack precise scales, may contain hand-written annotations, or suffer from distortions due to reproduction and ageing. Converting them directly from two dimensions to three, as in CAD workflows, risks introducing errors and inaccuracies [Feist *et al.*, 2024]. DEI addresses these issues through pre-processing techniques such as noise removal, rescaling based on historical units of measure, and proportion rectification. This ensures that both the graphical and textual content of the drawings are preserved and accurately reflected in the digital model.

The methodology also anticipates future integration with computer vision. Automated recognition of text and graphic components, coupled with semantic segmentation (Ahmed *et al.* 2011), could accelerate annotation and dimension checking. Such tools would not replace scholarly interpretation but rather provide support in verifying accuracy and consistency.

Experimental results

Andrea Palladio's Villa Sarego was chosen as a test case precisely because it exemplifies the challenges of unbuilt heritage. Designed in 1562, the project was only partially realised before construction was abandoned, and the remaining structures were later demolished.

Today, Palladio's drawings are the only evidence. His corpus has long served as a reference in computational research (Fig. 2), from Stiny and Mitchell's *Palladian Grammar* [1978] to Sass's experiments with digital fabrication [2007], facade's semantic analysis [Buthayna, 2008] and recent explorations of GANs for plan generation [Uzun *et al.*, 2020].

DEI builds on this tradition but shifts attention from generative approaches to the critical recovery of Palladio's design reasoning. Figures 3 and 4

illustrate the overall workflow of the Drawing Encoding Initiative (DEI) applied to Palladio's Villa Sarego (1562). The process begins with the digitisation and pre-processing of archival drawings, followed by image colour analysis, pixel-to-point conversion, and semantic labelling of architectural components. These data are then vectorised and anchored to HBIM elements, integrating plan and elevation information within a structured library of parametric entities. The outcome is a semantically enriched three-dimensional model, a 3D Digital Critical Edition, that transforms 'drawn' architecture into machine-readable, interoperable heritage knowledge.

Plan analysis

The initial stage focused on analysing the plan. The digitised image was cropped, resized, and normalised to ensure uniformity. Colour processing then converted it into a binary image, which facilitated the isolation of architectural lines and reduced background noise. From here, a pixel-to-point translation created a grid in which black pixels became active points representing architectural elements, while white spaces defined voids. These clusters of points were automatically grouped and interpreted according to their architectural role, such as walls, columns, or openings.

Vectorisation and anchoring

Once the drawing was cleaned and structured at the pixel level, the process advanced to vectorisation. The clusters were transformed into vector geometries that traced the centrelines of walls and the axes of columns. These geometries were then anchored to HBIM components drawn from a dedicated library. The transition to three dimensions was made possible by this step, which connected abstract vectors to parametric entities.

Elevation analysis

The workflow also relied on elevation drawings. These provided vertical references that were aligned with the plan data, ensuring that the three-dimensional reconstruction remained coherent across different representational systems. The integration of plan and elevation produced a model faithful not only to proportions but also to Palladio's compositional logic.

HBIM library of elements

Central to the methodology was the creation of an HBIM library (Fig. 5) tailored for Palladian architecture [Giovannini, 2023a, 2023b]. While generic components, such as walls and floors, exist in standard HBIM frameworks, features like classical columns, entablatures, and vaulted systems require custom, adaptive families. Their inclusion ensured that the resulting model captured the stylistic grammar specific

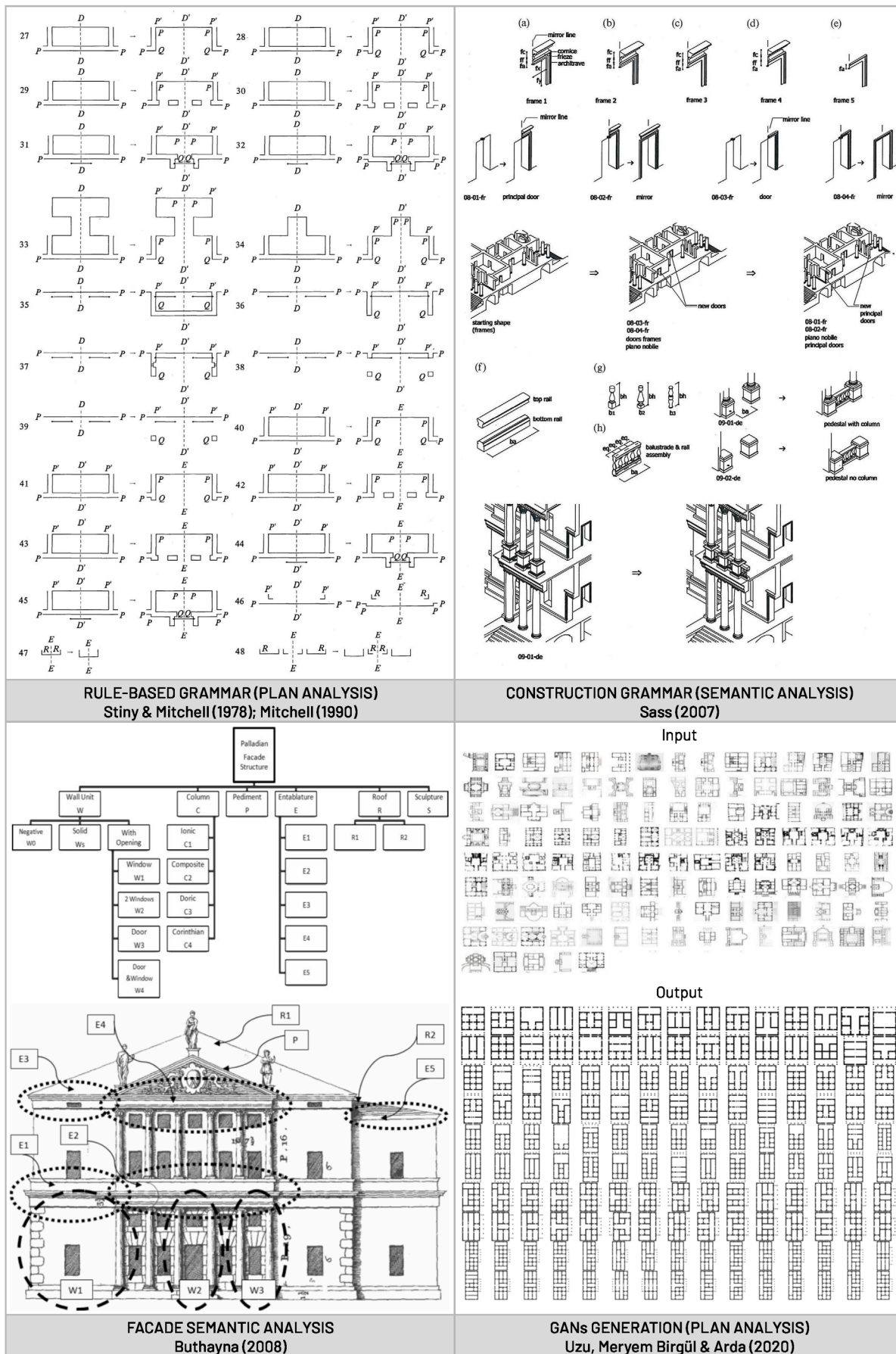


Fig. 2: Different computational approaches to Palladio's design

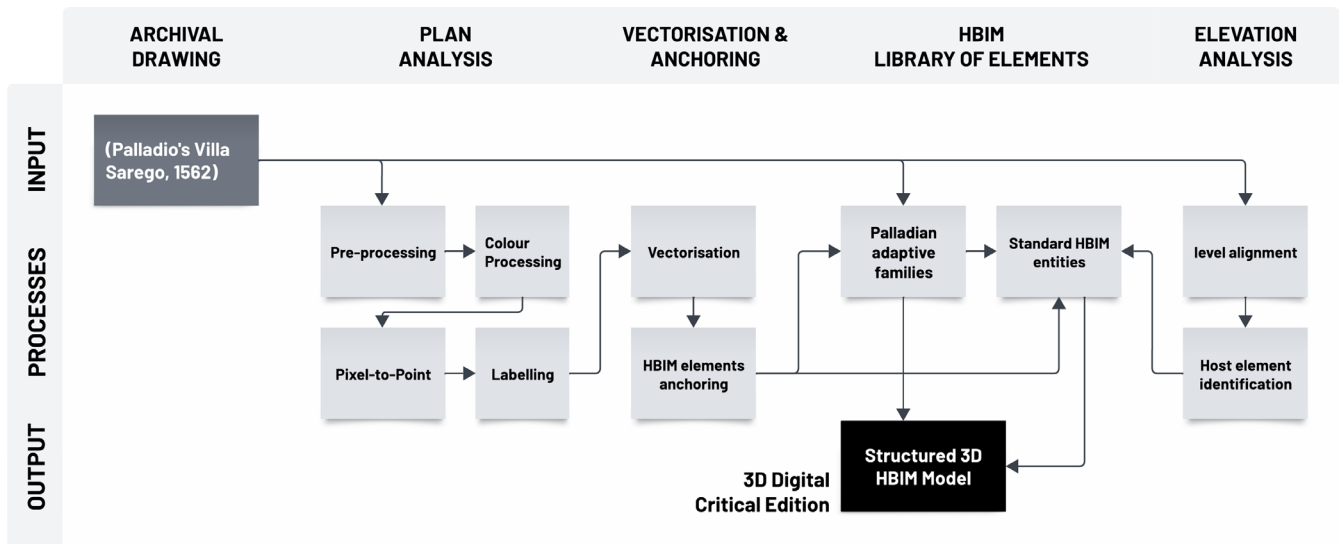


Fig. 3: Flowchart of the DEI workflow

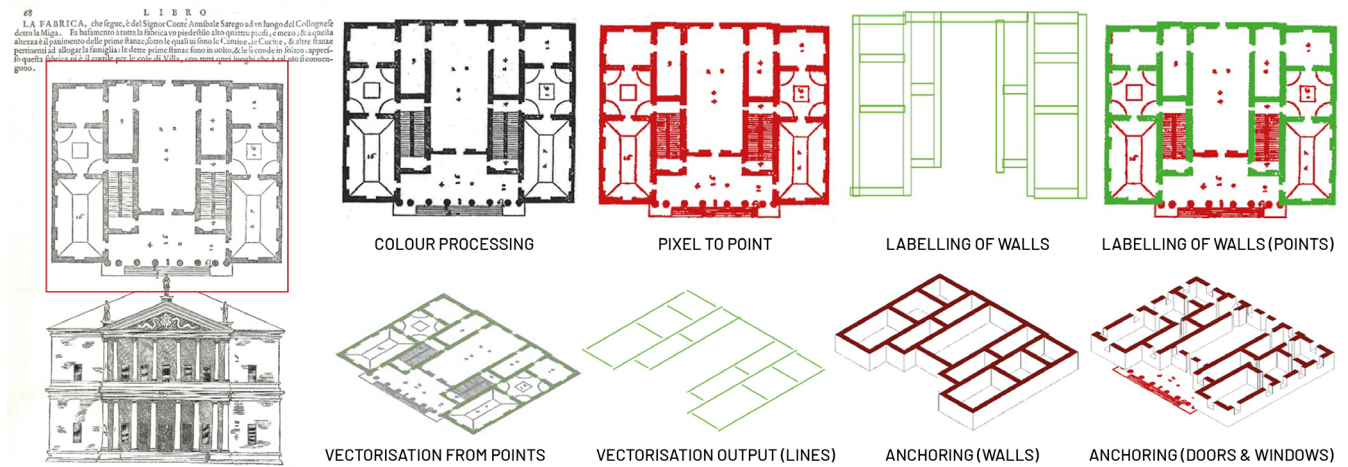


Fig. 4: DEI Workflow applied to Villa Sarego.

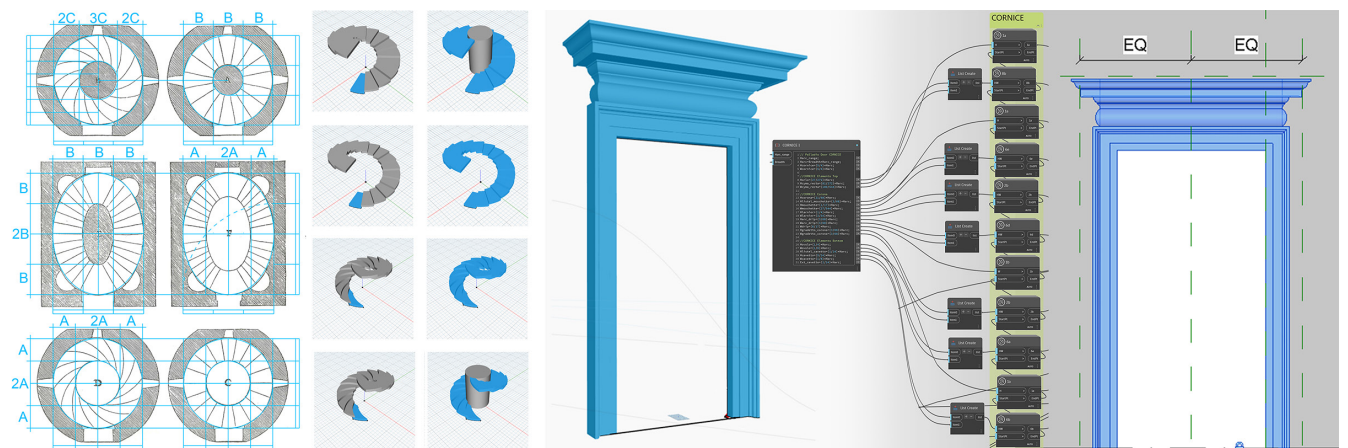


Fig. 5: A portion of HBIM library for Palladian Architecture. [Giovannini, 2023a,b]

to Palladio, extending beyond mere geometry to encode the cultural and formal essence of his design.

The outcome was a model that preserved both form and meaning. Rather than a static reproduction, it functioned as a digital critical edition: a structured artefact that both human scholars and computational tools could interrogate to reveal the underlying architectural grammar.

An HBIM open visualisation using dotbim format

At the beginning of 2022, a new file format was released for the BIM industry. It's called dotbim (extension: .bim), the project is 100% free and open². This is a minimalist, simple, JSON-based file format for BIM developed by MIT in response to the perceived complexity of other OpenBIM initiatives, such as those of buildingSMART International (bsi)³. It supports only one representation (triangularization) and associates key-value pairs of data with it [Böhms *et al.*, 2023].

While Industry Foundation Classes (IFC), developed by bsi⁴, remains the gold standard for contemporary construction workflows, its complexity and industry-specific semantics make it less suitable for the digitisation of unbuilt or documentary heritage (Fig. 6). In contrast, dotbim provides a lightweight, flexible, and FAIR-compliant format that is better aligned with the objectives of the DEI methodology, where the priority is not facility management but the encoding of architectural knowledge extracted from historical drawings into structured and reusable 3D digital critical editions (Fig. 7).

In this regard, semantic interoperability of complex cultural data could be integrated with the buildingSMART Data Dictionary (bSDD) platform⁵ to enhance semantic interoperability for heritage assets [Argasiński & Tomczak, 2025].

By connecting bSDD shared definitions to virtual HBIM models, the DEI methodology ensures consistent, accurate, and interoperable 3D data across different software, supporting research and virtual reconstruction management by creating a more transparent and repeatable scientific process for unbuilt heritage.

2_ .bim - a new BIM file format, Bim Corner, 4 may 2022. Available at <https://bimcorner.com/a-new-bim-file-format/>

3_ buildingSMART International (bsi). Available at <https://www.buildingsmart.org/>

4_ Industry Foundation Classes (IFC). Available at <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>

5_ buildingSMART Data Dictionary (bSDD). Available at <https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/>

Conclusions

The Drawing Encoding Initiative illustrates how archival drawings can be reinterpreted and transformed into structured, semantically enriched digital models. By combining HBIM with algorithmic modelling, it establishes a workflow that is transparent, reproducible, and critically grounded in evidence.

The approach combines building typological shape grammars [Mamoli, 2020] with an encoded representation of architectural elements [De Luca *et al.*, 2007] using a semi-automatic algorithmic approach.

The Villa Sarego case study demonstrates the potential of this methodology. The process went beyond reproducing spatial configurations: it enabled the recovery of Palladio's design logic and reasoning. In this respect, DEI differs fundamentally from AI generative methods. While such tools may create visually convincing images, their speculative nature prevents them from serving as reliable resources for heritage research. DEI, on the other hand, emphasises accountability, ensuring that every step of the reconstruction can be traced back to archival evidence.

The initiative contributes to heritage studies by proposing a source-based framework for the digitisation of unbuilt architecture. It integrates geometry with semantics, produces resources that operate as critical digital editions, and adheres to the FAIR principles that guarantee reusability and interoperability.

The current limitations of the method lie in its semi-automatic character and the need for specialised HBIM libraries.

Currently, significant scholarly intervention remains necessary, and scalability to extensive archival collections remains challenging. However, the workflow points towards promising directions. Integration with computer vision may automate routine operations, while collaborations across disciplines could expand the semantic depth of HBIM libraries. Beyond academia, DEI also opens opportunities for museums, archives, and educational institutions, which could present unbuilt heritage through interactive and immersive visualisations.

Ultimately, DEI envisions a future in which drawings are not treated as static relics but as living digital resources. Through their transformation into structured models, they contribute to a renewed cultural memory, offering scholars, practitioners, and the public new insights into projects that were imagined but never realised.

6_ The Online 3D Viewer, allows visualisation of diverse types of 3D file formats, including .bim and IFC. Available at <https://3dviewer.net/>

CRITERIA	INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)	DOTBIM (.BIM)
PURPOSE	Industry standard for construction and facility management	Lightweight format for exchanging 3D BIM-like models
COMPLEXITY	Very high (tens of thousands of entities)	Low (JSON-based, simple structure)
SEMANTIC STRUCTURE	Rigid, technical, oriented to contemporary construction	Minimal semantics, extensible with custom fields
FLEXIBILITY	Limited, requires strict classification	High, allows tailored metadata from historical sources
ACCESSIBILITY	Heavy viewers and libraries required	Lightweight, human- and machine-readable, browser-friendly
FAIR COMPLIANCE	Good, but complex to integrate with LOD/Linked Data	High, easy JSON integration with databases and FAIR workflows
SUITABILITY FOR 'DRAWN' ARCHITECTURE	Low: assumes complete, standardised building information	High: suitable for partial, interpretive data from archival drawings

Fig. 6: IFC vs dotBIM comparison

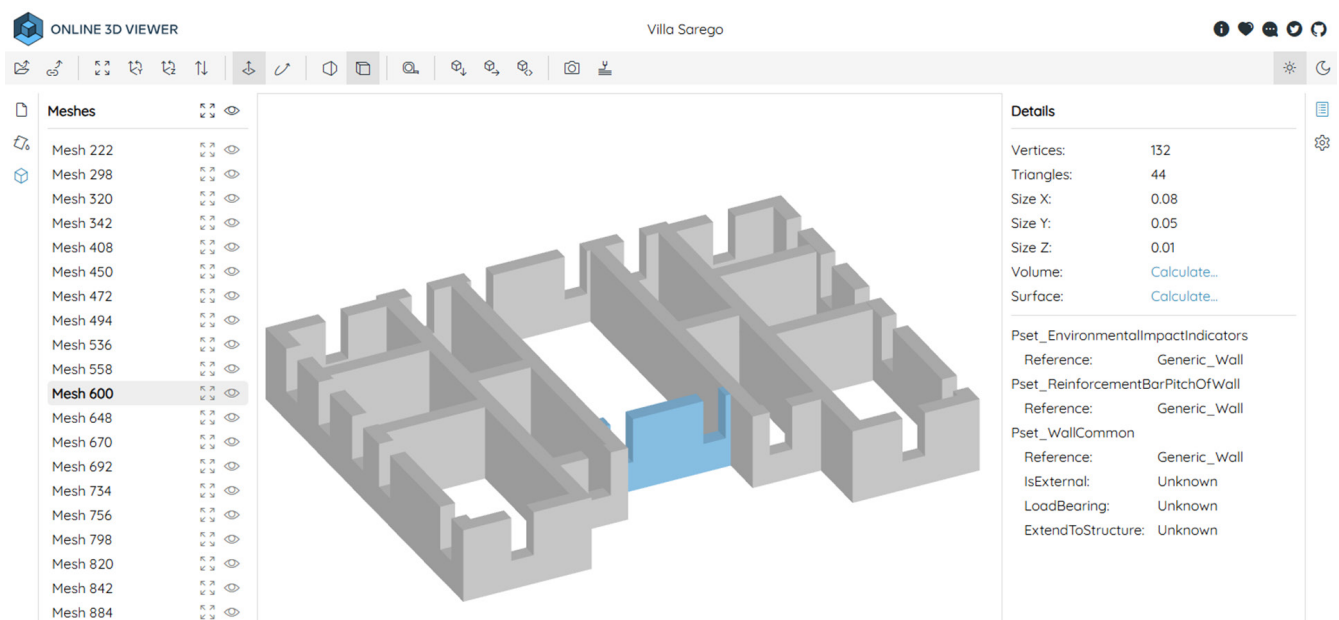


Fig.7: Web-based dotbim visualisation using Online 3D Viewer⁶

Acknowledgement

The author would like to thank PhD. Arch. Andrea Tomalini, research fellow at the Department of Architecture and Design (DAD) of Politecnico di Torino, for his valuable advices on the visual programming language (Grasshopper GH) and its application in the development of the dotbim file format.

Bibliography

- Ahmed, S., Liwicki, M., Weber, M., & Dengel, A. (2011). Improved automatic analysis of architectural floor plans. In *2011 International Conference on Document Analysis and Recognition - ICDAR 2011* (pp. 864–869).
- Argasiński, K., & Tomczak, A. (2025). Enhancing semantic interoperability of heritage BIM-based asset preservation. *Heritage*, 8(10), 410.
- Caetano, I., & Leitão, A. (2020). Architecture meets computation: An overview of the evolution of computational design approaches in architecture. *Architectural Science Review*, 63, 165–174.
- Carmo, M. (Ed.). (2012). *AD Magazine: The digital turn in architecture 1992–2012*. John Wiley & Sons Ltd.
- Ching, F. D. K. (2023). *Architectural graphics*. John Wiley & Sons.
- Ciotti, F. (2018). A formal ontology for the text encoding initiative. *Umanistica Digitale*, 3, 137–153.
- De Luca, L., Véron, P., & Florenzano, M. (2007). A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements. *Visual Computer*, 23, 181–205.
- Feist, S., Jacques De Sousa, L., Sanhudo, L., & Poças Martins, J. (2024). Automatic reconstruction of 3D models from 2D drawings: A state-of-the-art review. *Engineering*, 5, 784–800.
- Giovannini, E. C. (2022). *Knowledge representation in architecture: Data modelling between digital humanities and H-BIM*. Aracne.
- Giovannini, E. C. (2023a). Making Palladio digital: Geometrical parameters in door's ornaments. *Nexus Network Journal*, 25(3), 773–794.
- Giovannini, E. C. (2023b). An algorithmic approach to Palladio's design of stairs. *Nexus Network Journal*, 25(Suppl. 1), 293–301.
- Hollander, M. (1977). *Unbuilt America: Forgotten architecture in the United States from Thomas Jefferson to the Space Age*.
- Impett, L. (2024). Digital art history as critical AI. *The Art Bulletin*, 106(2), 11–14.
- Lovell, L. J., Davies, R. J., & Hunt, D. V. L. (2023). The application of historic building information modelling (HBIM) to cultural heritage: A review. *Heritage*, 6, 6691–6717.
- Merino-Gómez, E., Reviriego, P., & Moral, F. (2023). Arquitecturas inconclusas: Una perspectiva desde la inteligencia artificial. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 28(48), 254–267.
- Mamoli, M. (2020). A shape grammar for the building-type definition of the ancient Greek and Roman library and the evaluation of library plans. *AI EDAM*, 34(2), 191–206.
- Mitchell, W. J. (1990). *The logic of architecture: Design, computation, and cognition*. MIT Press.
- Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey*, 27, 311–327.
- Sass, L. (2007). A Palladian construction grammar—Design reasoning with shape grammars and rapid prototyping. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(1), 87–106.
- Stiny, G., & Gips, J. (1978). *Algorithmic aesthetics: Computer models for criticism and design in the arts*. University of California Press.
- Stiny, G., & Mitchell, W. J. (1978). The Palladian grammar. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 5(1), 5–18.
- Uzun, C., Meryem Birgül Ç., & Arda, İ. (2020). GAN as a generative architectural plan layout tool: A case study for training DCGAN with Palladian plans and evaluation of DCGAN outputs. *AJ Z ITU Journal of Faculty of Architecture*, 17, 185–198.
- Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., Blomberg, N., Boiten, J. W., Da Silva Santos, L. B., Bourne, P. E., & Bouwman, J. (2016). The FAIR guiding principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data*, 3(1), 1–9.

MÁS ALLÁ DEL MODELO TRES IDEAS PARA PENSAR EL HBIM COMO LENGUAJE, TRADUCCIÓN E INTERPRETACIÓN.

Beyond the Model
Three Ideas to Reframe HBIM as Language,
Translation, and Interpretation

Authors

Aldo Guzmán

BIM Manager en Festival Arch / Docente en Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo – UBA

Email

Aldo.guzman@festivalarch.com / aldo.guzman@fadu.uba.ar

Keywords

COLLABORATIVE PRACTICE
INTERCULTURAL COMMUNICATION
BIM AS LANGUAGE
TRANSLATION PROCESS
ARCHITECTURAL INTERPRETATION

Abstract

El presente trabajo expone la experiencia de modelado *HBIM* de la Academia Naval de Livorno y desarrolla tres ejes conceptuales para reflexionar el *HBIM* más allá del modelo: como lenguaje común, como acto interpretativo y como proceso de traducción. A partir de un encargo internacional, se analizan decisiones metodológicas, desafíos de coordinación, criterios de modelado y su aporte a la comprensión, documentación y valorización crítica del patrimonio construido.

This paper presents the HBIM modeling experience of the Naval Academy of Livorno and explores three conceptual axes to reflect on HBIM beyond the model: as a shared language, as an interpretative act, and as a process of translation. Based on a collaborative project between Italy and Argentina, it examines methodological decisions, coordination challenges, and modeling criteria, highlighting how these informed the understanding, documentation, and critical valorization of built heritage.

Introducción

La aplicación de la metodología *Building Information Modeling (BIM)* al patrimonio construido —conocida como *Heritage BIM* o *HBIM*— abre un campo fértil para repensar los procesos de documentación, análisis y valorización de edificios históricos. El presente trabajo se centra en la experiencia profesional desarrollada durante el modelado *as-built* de la *Accademia Navale di Livorno*, Italia, (Figg. 1a, 1b) realizado por el estudio argentino *Festival Arch* para el cliente *Politecna Europa*.

Lejos de ser únicamente una herramienta tecnológica, el *HBIM* propone una forma de trabajo colaborativo que articula modelos tridimensionales, bases de datos, estrategias de coordinación y criterios de interpretación. Este artículo desarrolla tres ejes conceptuales que permiten reflexionar el *HBIM* más allá de la dimensión instrumental: el *HBIM* como lenguaje común, como acto de interpretación y como proceso de traducción.

Caso de estudio: Academia Naval de Livorno

El proyecto surge de un encargo internacional de la empresa italiana *Politecna*, interesada en contar con un modelo *as-built* de la *Accademia Navale di Livorno*, complejo fundado en 1881 y actualmente sede

de la formación de oficiales de la Marina italiana (Fig. 2). El objetivo principal era disponer de un modelo digital confiable para planificar futuras intervenciones de refuncionalización y mantenimiento (Fig. 3).

Politecna realizó el relevamiento con escáner láser y entregó a nuestro equipo nubes de puntos de alta densidad. El estudio *Festival Arch*, recién conformado a partir de este encargo, asumió la tarea de generar el modelo *HBIM* del edificio existente y del proyecto de intervención, incorporando fases para diferenciar el estado actual y las propuestas de obra (Fig. 4).

El trabajo implicó:

- Aplicación de estándares de modelado y estructura de datos compatibles con el *PGI (Piano di Gestione Informativa)* provisto por el cliente.
- Coordinación remota con el equipo italiano para validar criterios geométricos, niveles de detalle (*LOD*) y convenciones gráficas.
- Desarrollo de familias paramétricas específicas para elementos históricos singulares (cornisas, arcos, techumbres) a partir de datos de escaneo y documentación histórica.
- Modelado por fases para representar el estado existente y la intervención prevista, asegurando la trazabilidad de la información.

Más allá de los resultados técnicos —modelos, vistas y base de datos— el proceso reveló una dimensión metodológica y cultural que motiva las reflexiones presentadas a continuación.



Fig. 1a: Vista aérea de la Academia Naval de Livorno y su entorno.

Primer eje - BIM como lenguaje común

"Cuando no hay idioma compartido, el lenguaje es la metodología."

Uno de los aspectos más significativos de este proyecto fue su carácter internacional: un equipo argentino trabajando para una empresa italiana, sin

compartir un idioma en común. En este contexto, la metodología BIM se convirtió en un lenguaje técnico compartido que permitió que el proyecto avanzara con claridad y precisión.

El punto de partida del encargo fue un *PGI (Piano di Gestione Informativa)*, equivalente al *BEP (BIM Execution Plan)*, redactado íntegramente en italiano.



Fig. 1b: Vista aérea de la Academia Naval de Livorno.



Fig. 2: Identificación y clasificación de los edificios del conjunto.

Más allá de las traducciones iniciales, fue el conocimiento profundo de los principios y estructuras de *BIM* lo que hizo posible comprender el documento en su totalidad y adaptarse al flujo de trabajo propuesto por el cliente. La lectura del *PGI* no se apoyó solo en las palabras, sino en la familiaridad con los conceptos de niveles de detalle (*LOD*), codificación de familias, estructura de parámetros y criterios de interoperabilidad que constituyen el "alfabeto" del *BIM*.

El *PGI* establecía criterios de modelado, codificación, estructura de archivos, carga de parámetros y uso de plataformas colaborativas. Gracias a una base común metodológica, el intercambio con la *BIM Manager* del cliente y el resto del equipo fue ágil, preciso y altamente eficiente.

Esta experiencia demuestra que el *BIM*, entendido como metodología, no solo organizó la producción técnica, sino que habilitó la comunicación entre culturas, equipos y formas de hacer.

En este proyecto, el lenguaje no fue una barrera; por el contrario, *BIM* fue el lenguaje que permitió que la conversación sucediera.

Segundo eje – Modelar es interpretar

"No hay forma de modelar sin comprender."

La tarea principal del encargo fue el desarrollo de modelos *as-built* de cuatro edificios patrimoniales de la Academia Naval, a partir de nubes de puntos obtenidas mediante *laser scanning* (Fig. 5). Estas construcciones, con más de un siglo de historia, presentaban intervenciones posteriores,

ampliaciones, reparaciones y cambios de uso que se habían superpuesto a lo largo del tiempo.

En este contexto, el modelado no podía reducirse a una mera reproducción geométrica. Cada elemento representado requería un proceso de lectura e interpretación de capas de información: contrastar la nube de puntos con documentación histórica, detectar incongruencias, reconocer modificaciones no registradas y tomar decisiones informadas sobre qué modelar, cómo modelarlo y con qué nivel de definición. El modelo final debía ser al mismo tiempo fiel a la realidad construida y funcional para los futuros usos del proyecto (Fig. 6).

Este proceso fue especialmente desafiante en el modelado de elementos como cubiertas, ornamentos, carpinterías, estructuras ocultas y sistemas de instalaciones parcialmente visibles. En muchos casos, fue necesario complementar la nube de puntos con verificación fotográfica y controles *in situ* por parte del cliente. Cada decisión de modelado implicaba una hipótesis fundamentada, un equilibrio entre precisión, utilidad y coherencia histórica (Fig. 7).

La práctica del *HBIM* en este proyecto se aleja de la mera traducción técnica. Se acerca más a una tarea arqueológica, donde cada decisión de modelado se convirtió en un ejercicio de interpretación crítica, en el que la geometría es solo una parte del problema. Modelar, en este contexto, significa comprender la lógica constructiva, los procesos de transformación y las huellas del tiempo, para poder representarlos de manera consciente y transmitirlos a quienes continuarán la obra.



Fig. 3: Resumen del alcance y entregables del proyecto.

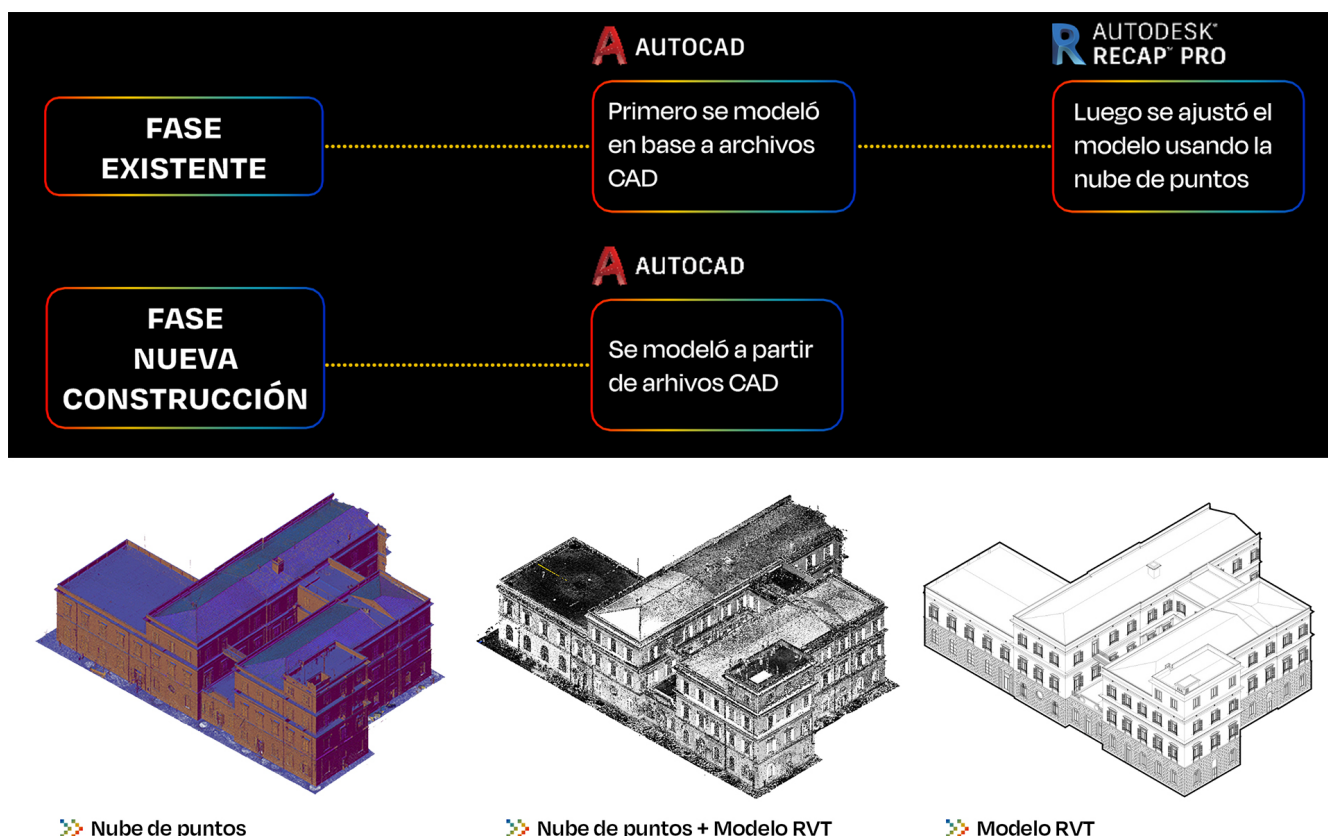


Fig. 4: Flujo de trabajo BIM y proceso de modelado basado en CAD y nube de puntos.

En definitiva, modelar es entender, y cada decisión adoptada en el modelo es, en última instancia, una lectura del pasado.

Tercer eje – HBIM como proceso de traducción

"Entre lo que fue, lo que es y lo que será."

A diferencia de un proyecto nuevo, el trabajo sobre patrimonio construido implica dialogar con la historia. En este caso, la complejidad se amplió aún más: además de modelar la fase existente, fue necesario incorporar la fase de proyecto correspondiente a la refuncionalización. Esto obligó a trabajar con fases diferenciadas dentro del modelo, integrando tanto lo heredado como lo proyectado.

El flujo de información tampoco fue lineal: en distintos momentos se recibieron actualizaciones parciales, ya fuera una nueva nube de puntos, registros fotográficos adicionales o ajustes solicitados por el cliente. Cada nueva entrega suponía revisar, corregir y reestructurar el modelo, lo que transformó el trabajo en un proceso dinámico y evolutivo.

En este contexto, el HBIM se convirtió en un ejercicio de traducción permanente entre distintas versiones de la realidad:

- lo planificado, en los documentos de proyecto;
- lo construido, registrado en el levantamiento;
- lo verificado, a través de los controles sucesivos;
- y lo documentado, en las entregas del modelo.

El modelo no fue un producto cerrado, sino un espacio de mediación crítica, capaz de incorporar transformaciones y dejar registro de las decisiones tomadas en cada etapa.

De esta manera, el HBIM funcionó como una herramienta de traducción entre pasado, presente y futuro, permitiendo sostener la continuidad del edificio como objeto patrimonial y, al mismo tiempo, habilitar su nueva vida como infraestructura funcional.

Conclusiones

Los "nuevos desarrollos" en BIM no deben entenderse únicamente como innovaciones tecnológicas o metodológicas. En muchos casos, implican nuevas formas de pensar, de colaborar y de construir sentido compartido.

El análisis del caso de la Academia Naval de Livorno nos invita a mirar el HBIM más allá del modelo y reconocerlo como un lenguaje, una interpretación y una traducción. Estas tres dimensiones abren preguntas que siguen siendo pertinentes en el campo de la investigación y la práctica profesional.

¿Puede el BIM convertirse en un lenguaje común que trascienda no solo idiomas, sino también culturas, tradiciones proyectuales y marcos regulatorios? La experiencia aquí presentada evidencia que sí, pero también advierte que este

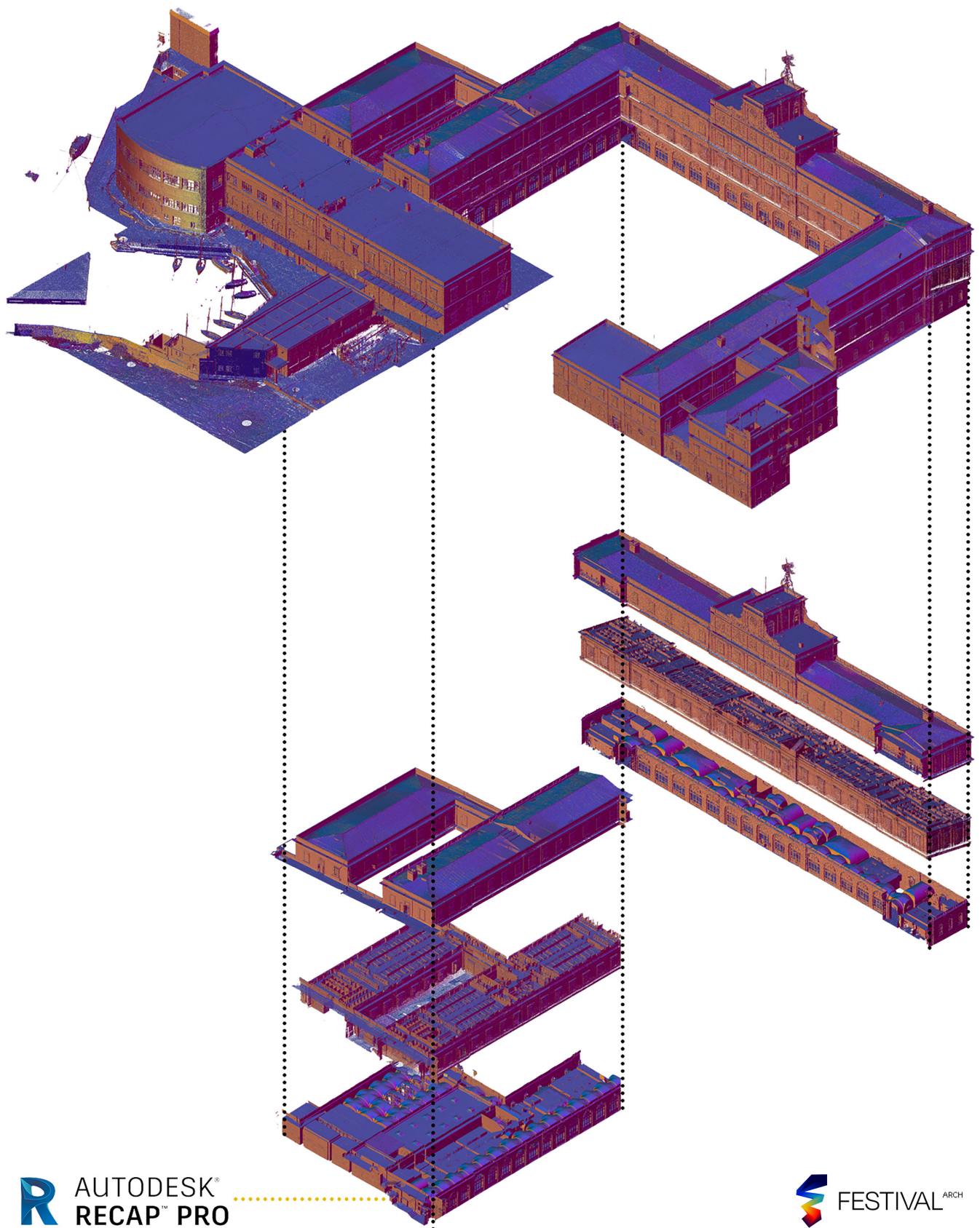


Fig. 5: Composición y segmentación de la nube de puntos.

lenguaje debe ser entendido, compartido y cultivado colectivamente.

Sabemos que modelar es interpretar y que todo modelado implica tomar decisiones: qué se incluye, qué se omite, cómo se representa. ¿No se acerca esta práctica más a una lectura crítica que a un simple registro técnico? El *HBIM*, en particular, obliga a aceptar que cada decisión de modelado conlleva una hipótesis sobre la historia material del edificio.

¿Y qué significa traducir un edificio patrimonial en términos de fases, usos y proyecciones futuras? La traducción no es neutra: implica siempre elegir qué voces se priorizan, qué aspectos se preservan y cuáles se transforman. En este sentido, el modelo se convierte en un espacio de negociación entre lo que fue, lo que es y lo que será.

Estas preguntas no cierran, sino que abren. No buscan clausurar la discusión, sino alimentar el debate académico y profesional sobre el papel del *HBIM* en la conservación, la documentación y la refuncionalización del patrimonio construido.

En definitiva, este caso demuestra que el *HBIM* es mucho más que una metodología de precisión: es un marco cultural y crítico, un dispositivo que nos obliga a reflexionar sobre nuestro rol como arquitectos e investigadores frente al patrimonio. El desafío, no es solo perfeccionar las herramientas, sino aprender a mirar, comprender y dialogar a través de ellas, asumiendo la responsabilidad de construir conocimiento compartido y significativo.

En un momento en que la digitalización parece reducir el trabajo a datos, el *HBIM* recuerda que la verdadera innovación reside en la capacidad de

interpretar, valorar y transmitir el patrimonio construido. Su aplicación demanda rigor técnico, pero también sensibilidad cultural, cualidades que posicionan al arquitecto como actor central en la construcción de conocimiento.

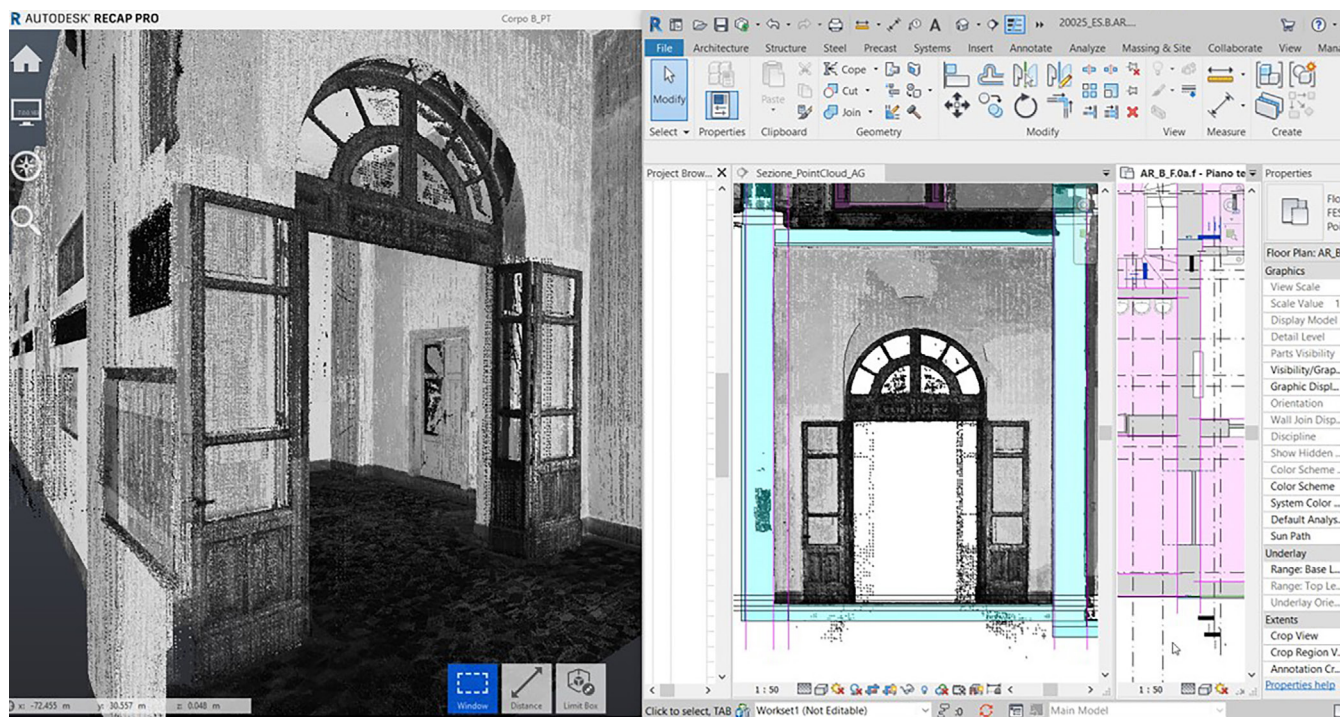
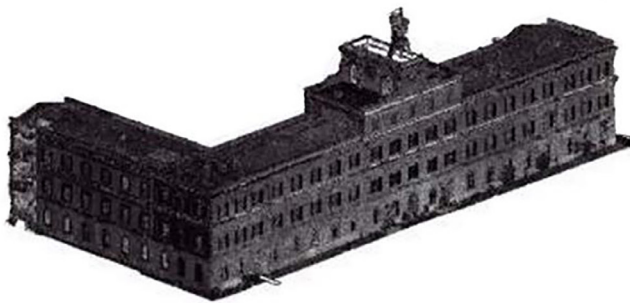
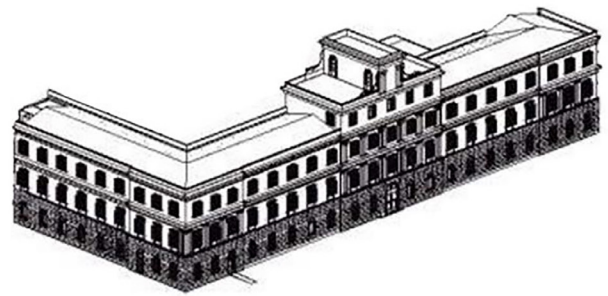


Fig. 6: Integración de la nube de puntos en el modelo BIM.

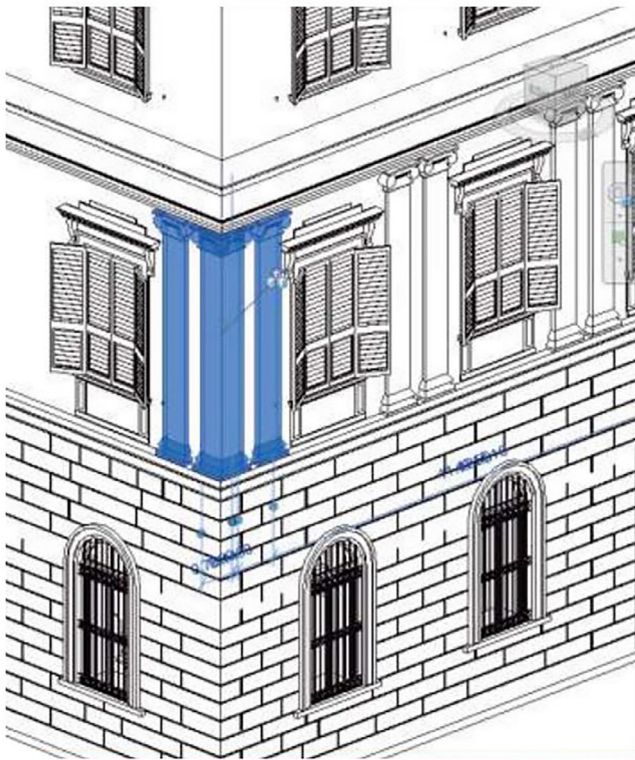
Nube de Puntos



Modelo RVT + Nube de Puntos



Familia Customizada



Familia Customizada

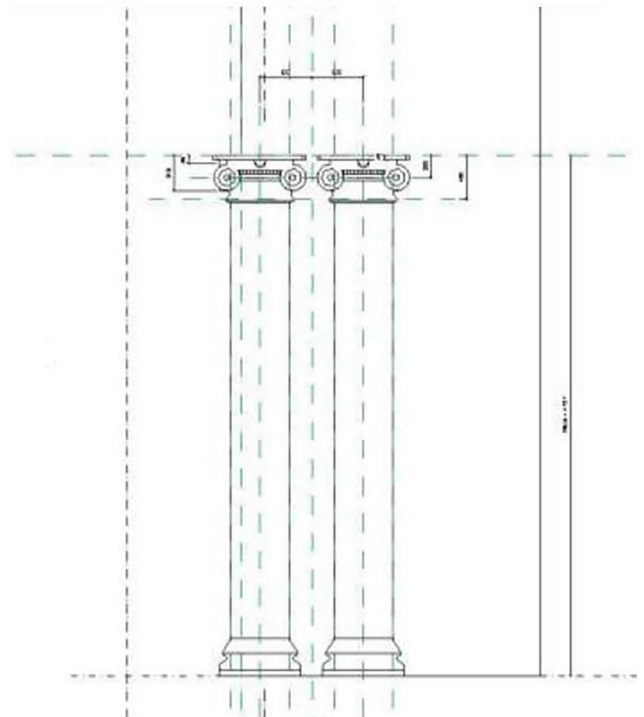


Fig. 7: Modelado detallado de elementos históricos – columnas y ornamentos de fachada.

Bibliografía

Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2013). *Historic Building Information Modelling (HBIM): Adding intelligence to laser and image-based surveys of European classical architecture*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 89–102.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building*

Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. Hoboken: John Wiley & Sons.

Baudrillard, J., & Nouvel, J. (2002). *Los objetos singulares: Arquitectura y filosofía*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Politecnica Europa. (2021). *PGI – Piano di Gestione Informativa del progetto* Academia Naval de Livorno.

DIGITAL TWIN MUSEALE: MONITORAGGIO IN TEMPO REALE PER GARANTIRE UNA GESTIONE PROATTIVA

Museum Digital Twin: Real-Time monitoring for
enabling proactive management

Authors

Marco Limongiello¹, Caterina Gabriella Guida¹, Javier Nuñez²

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno

² Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo | UBA

Email

mlimongiello@unisa.it
cguida@unisa.it
javier.nunez@fadu.uba.ar

Keywords

HBIM
INTEGRATED DIGITAL SURVEY
ENVIRONMENTAL IOT SENSING
PREVENTIVE CONSERVATION
VISITOR FLOW MANAGEMENT

Abstract

L'introduzione del paradigma Digital Twin nei contesti museali consente di superare approcci gestionali tradizionali, favorendo un controllo in tempo reale dei parametri ambientali e dell'afflusso di visitatori. L'articolo descrive una sperimentazione basata su rilievo integrato, modellazione HBIM e sensoristica IoT, evidenziando i vantaggi di una piattaforma dinamica orientata alla conservazione preventiva e alla gestione proattiva del patrimonio.

The introduction of the Digital Twin paradigm within museum environments makes it possible to overcome traditional management approaches, enabling real-time monitoring of environmental parameters and visitor flows. This article presents an experimental workflow based on integrated surveying, HBIM modelling, and IoT sensing, highlighting the benefits of a dynamic platform designed to support preventive conservation and proactive heritage management.

Introduzione

Il concetto di Digital Twin (DT), originariamente sviluppato in ambito industriale e manifatturiero per simulare in tempo reale il comportamento di impianti e processi, ha trovato una fertile estensione nelle pratiche di gestione del patrimonio culturale [Dell'Unto, 2022; Fassi, 2020]. In particolare, all'interno dei musei, la possibilità di replicare virtualmente ambienti, oggetti e dinamiche operative, collegandoli a sistemi di sensori in grado di restituire informazioni ambientali e funzionali, rappresenta un'opportunità strategica per trasformare la manutenzione - da reattiva a predittiva - e per gestire in maniera più efficace la relazione tra spazi, collezioni e pubblico.

L'approccio HBIM (Historical o Heritage Building Information Modeling), che negli ultimi anni si è progressivamente consolidato come standard per la documentazione e la modellazione informativa degli edifici esistenti, pur offrendo una rappresentazione semantica articolata dell'oggetto architettonico, conserva un carattere sostanzialmente statico e archivistico. Il DT supera questo limite estendendo il modello verso una dimensione operativa: non più semplice contenitore di dati, ma collettore dinamico in una rete di informazioni che aggiorna in tempo reale lo stato del sistema fisico [Messina, 2023]. In questo senso, il DT diventa uno strumento cognitivo capace di mediare fra la complessità dell'ambiente costruito e l'esigenza di prendere decisioni rapide e consapevoli [Lopez, 2022, Chiabrando 2017]. Nei contesti museali, dove le condizioni ambientali influiscono in modo diretto e spesso critico sullo stato di conservazione delle opere esposte, un sistema capace di rilevare e interpretare costantemente - per esempio - temperatura, umidità relativa, concentrazione di anidride carbonica e qualità dell'aria - rappresenta una leva potente per prevenire fenomeni di degrado. A ciò si aggiunge la necessità di gestire i flussi di visitatori in modo efficiente e sicuro, soprattutto in ambienti a capienza limitata o in presenza di reperti particolarmente sensibili. In tale ottica, il DT assume la forma di una piattaforma abilitante, in grado di coniugare esigenze conservative, gestionali e comunicative in un unico ecosistema digitale integrato. Inoltre, la connessione in tempo reale tra patrimonio fisico e infrastruttura digitale consente non solo di migliorare la qualità dell'esperienza di visita, ma anche di raccogliere dati fondamentali per la ricerca, la programmazione culturale e la comunicazione. In questa prospettiva, il DT museale si configura come uno strumento trasversale, capace di coinvolgere competenze multidisciplinari - dal rilievo digitale alla sensoristica, dalla modellazione HBIM alla visualizzazione interattiva - e di attivare nuove forme di conoscenza e valorizzazione.

Contesto e obiettivi del progetto

La sperimentazione qui descritta prende avvio dall'analisi di un contesto particolarmente significativo sotto il profilo architettonico, museografico e gestionale: il Castello Normanno-Svevo di Vibo Valentia, sede del Museo Archeologico "Vito Capialbi" (Fig.1). Si tratta di un complesso edilizio di origine medievale che ha subito trasformazioni nel corso dei secoli, integrando elementi normanni, svevi e aragonesi, e ospita attualmente una collezione eterogenea di reperti provenienti dal territorio vibonese e dalla Magna Grecia. L'edificio, caratterizzato da ambienti voltati, superfici lapidee non rifinite e aperture non sempre razionalizzabili, presenta condizioni climatiche complesse e disomogenee, accentuate da un impianto HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) parziale e da un'apertura al pubblico distribuita su fasce orarie variabili. In questo contesto, l'obiettivo primario è stato quello di progettare e realizzare un'infrastruttura digitale in grado di monitorare, interpretare e restituire in forma accessibile e interattiva una serie di parametri ambientali e comportamentali che influenzano direttamente la conservazione dei manufatti e la fruizione degli spazi.

Si è scelto di sviluppare un Gemello Digitale del museo, che rispetto ad un modello HBIM sia in grado di recepire in tempo reale i dati provenienti da una rete di sensori IoT, organizzarli in forma storicizzata e visualizzarli attraverso dashboard interattive, sia all'interno del modello stesso che su piattaforme cloud accessibili da remoto. Un ulteriore obiettivo è stato quello di sperimentare l'efficacia di questa infrastruttura digitale nella gestione dei flussi di visitatori e nella valutazione della qualità dell'aria, con particolare attenzione alla concentrazione di CO₂ e alla presenza di fumo o gas potenzialmente nocivi. La definizione di soglie operative e di scenari d'intervento è stata costruita in collaborazione con il personale museale, al fine di rendere il sistema non solo tecnicamente performante, ma anche coerente con le pratiche gestionali e con le capacità operative degli operatori. La scalabilità dell'architettura, il basso costo della sensoristica e l'utilizzo di strumenti *open-source* hanno reso possibile l'adattabilità del progetto anche ad altri contesti museali o espositivi, aprendo la strada a future applicazioni su scala territoriale.

Metodologia di rilievo e modellazione HBIM

Il primo passo per la realizzazione del DT è stato l'acquisizione accurata della geometria del manufatto architettonico, fondamentale per costruire un modello HBIM affidabile e interoperabile. A tal fine si è adottata



Fig. 1: Castello Normanno-Svevo di Vibo Valentia, sede del Museo Archeologico "Vito Capialbi" (elaborazione degli autori).

una metodologia di rilievo integrato basata sulla combinazione di tecniche fotogrammetriche da drone, rilievo laser scanner terrestre (TLS) e tecnologia SLAM mobile. La strategia è stata calibrata per garantire la massima copertura metrica e morfologica, riducendo i margini di errore e adattandosi alla complessa articolazione degli ambienti interni ed esterni [Di Filippo, 2018; Sun, 2019; Parrinello, 2019].

Il rilievo aerofotogrammetrico ha permesso di ottenere una nuvola di punti ad alta densità delle coperture e delle cortine murarie esterne, sfruttando voli automatizzati a bassa quota con camera calibrata e griglie nadirali e oblique. Per gli spazi interni, più articolati e scarsamente illuminati, si è ricorso a un TLS di tipo phase-shift, che ha consentito di acquisire milioni di punti per ciascuna scansione, ricostruendo con precisione le superfici irregolari delle volte, dei pilastri e dei dettagli decorativi. In aggiunta, un'unità SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) portatile è stata utilizzata per mappare i corridoi, le rampe e le aree di passaggio, dove la complessità geometrica e le interferenze visive rendevano difficile una copertura omogenea con le altre tecnologie (Fig.2). Le nuvole di punti ottenute

sono state processate, registrate e ottimizzate in ambiente Autodesk ReCap Pro, generando un unico dataset georeferenziato e armonizzato mediante la riduzione del rumore e degli outlier. Questo ha costituito la base per la modellazione HBIM, condotta in ambiente Autodesk Revit mediante famiglie parametriche personalizzate, suddivise per categorie funzionali e materiche. L'obiettivo non era solo ricostruire fedelmente la morfologia architettonica, ma anche predisporre il modello per l'integrazione semantica con i dati dinamici, attraverso la definizione di parametri condivisi, la codifica degli spazi e l'individuazione di punti di aggancio per i sensori fisici (Fig.3).

Il modello HBIM (Fig.4) ha assunto, così, una struttura logica multilivello [Di Filippo, 2018; Sun, 2019; Parrinello, 2019], in cui le componenti edilizie non rappresentano semplici geometrie tridimensionali ma contenitori informativi capaci di ospitare dati storici, tecnici e prestazionali. Questa organizzazione ha permesso la creazione di filtri cromatici e viste tematiche che si aggiornano automaticamente in base ai valori acquisiti dai sensori, trasformando il modello in una vera e propria interfaccia cognitiva, accessibile anche a operatori non esperti. In questo

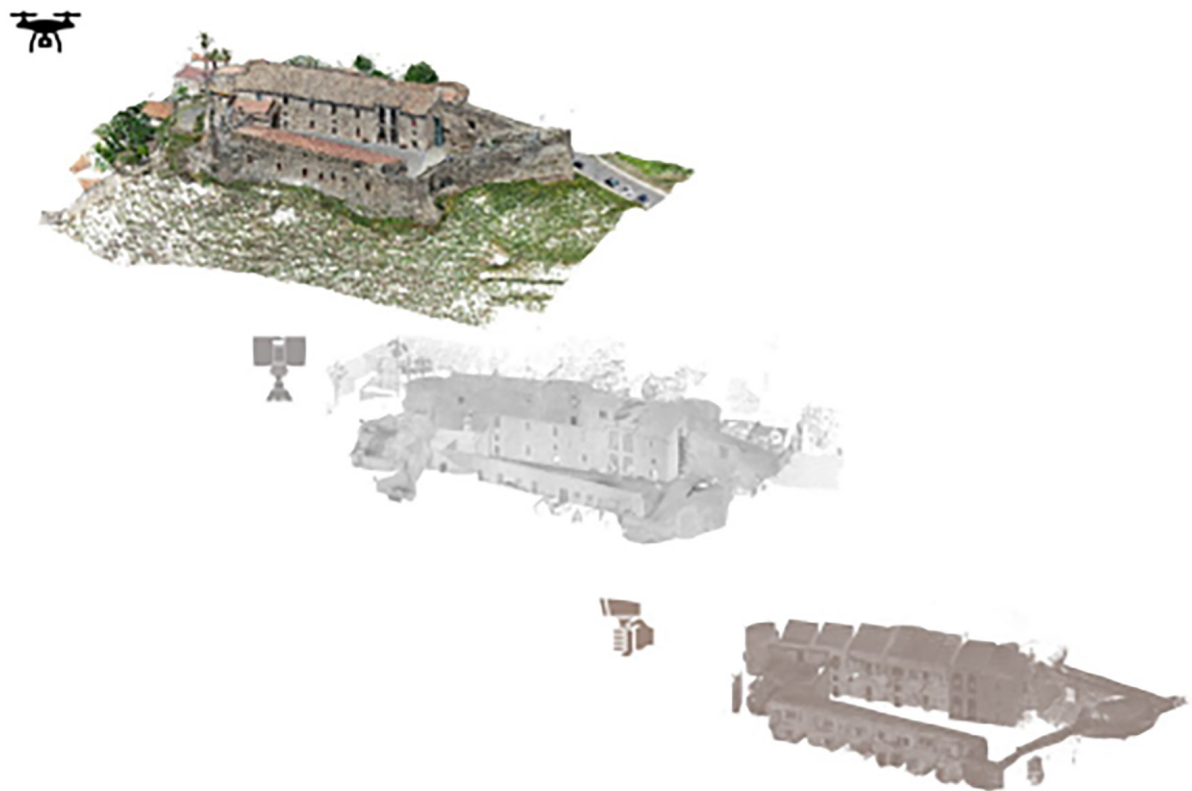


Fig. 2: Rilievo integrato ottenuto mediante Aerofotogrammetria da UAV, Terrestrial Laser Scanner (TLS) e Mobile Laser Scanner (MLS) (elaborazione degli autori).

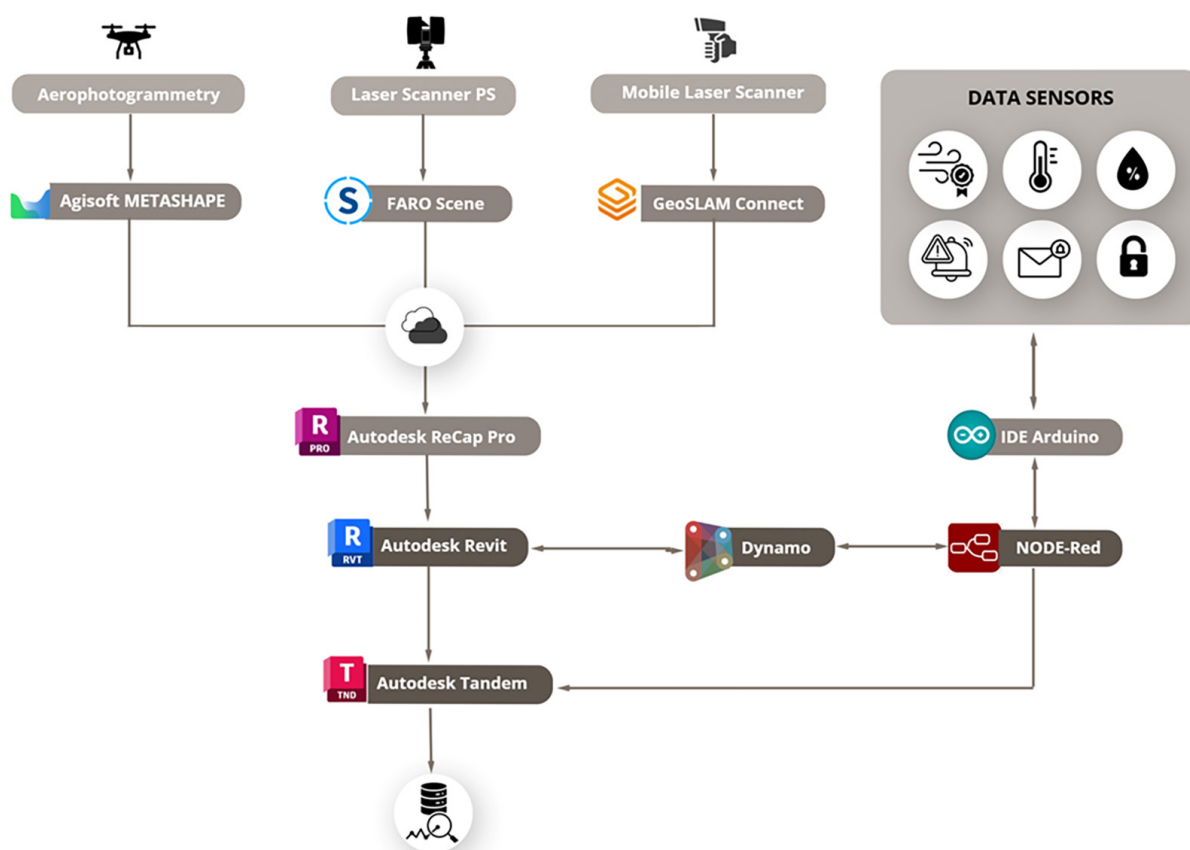


Fig. 3: Architettura del sistema proposto per la generazione di un Digital Twin adibito al monitoraggio di un ambiente interno (elaborazione degli autori).

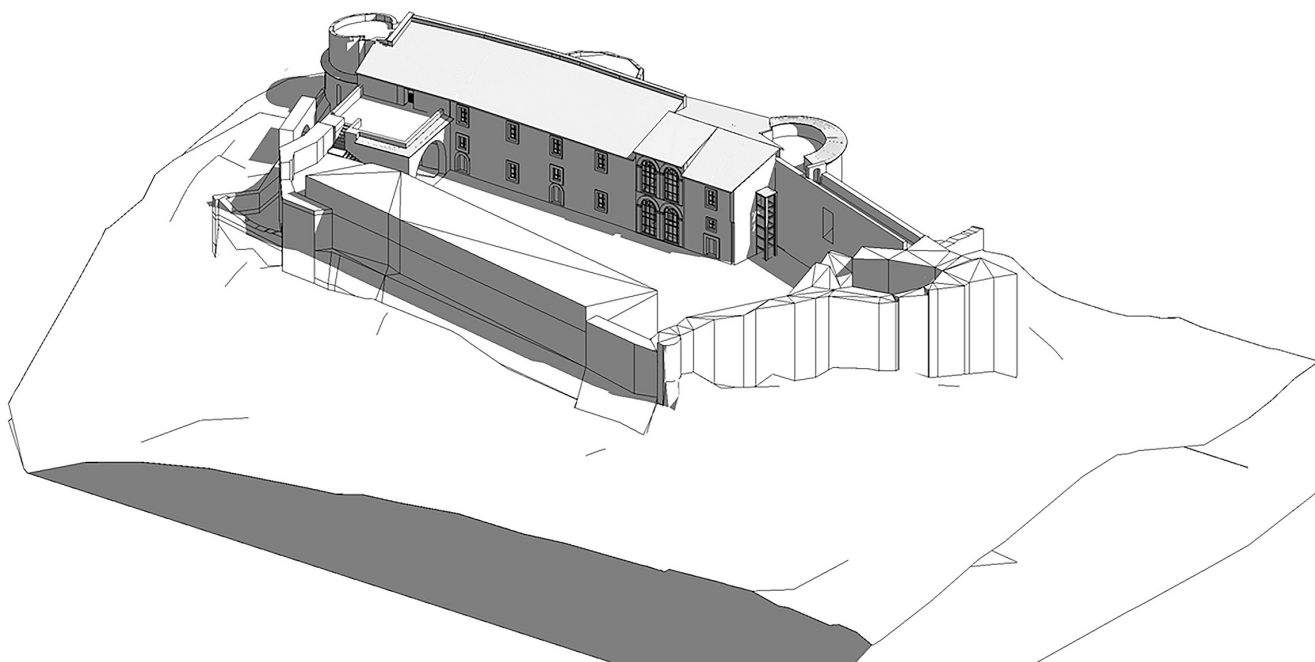


Fig. 4: Modellazione BIM architettonica realizzata in ambiente Autodesk Revit (vista concettuale - elaborazione degli autori).

modo, la modellazione HBIM si è evoluta in un ecosistema dinamico, propedeutico alla costruzione del *Digital Twin* [Yang, 2019].

Implementazione della sensoristica e acquisizione dei dati

Una volta definita la struttura informativa del modello, è stata progettata e realizzata la rete di sensori, composta da moduli IoT in grado di acquisire in tempo reale i dati ambientali e comportamentali del museo. La scelta è ricaduta su microcontrollori ESP32, particolarmente adatti per applicazioni a basso consumo energetico e con funzionalità Wi-Fi integrate. Ogni modulo è stato configurato per ospitare una combinazione di sensori ambientali, selezionati in funzione delle esigenze conservative e operative del sito.

In particolare, il sensore DHT22 è stato utilizzato per la misurazione della temperatura e dell'umidità relativa, grazie alla sua precisione e stabilità nel tempo. La qualità dell'aria è stata monitorata attraverso i sensori MQ-135 e MQ-2, capaci di rilevare concentrazioni di anidride carbonica, fumo e composti volatili. Per la rilevazione dei flussi di pubblico, sono stati adottati sensori a infrarossi passivi, posizionati nei punti di accesso e lungo i percorsi di visita. L'insieme di questi dati consente una lettura puntuale delle condizioni ambientali e dell'interazione con il pubblico, elementi fondamentali per la valutazione del rischio e la pianificazione di interventi correttivi.

I dati acquisiti da ciascun sensore vengono formattati in pacchetti JSON e trasmessi attraverso il protocollo

MQTT a un *broker* sicuro, installato su server locale. Il protocollo, leggero e affidabile, consente una comunicazione bidirezionale e asincrona tra dispositivi, facilitando l'aggiornamento continuo delle informazioni. In parallelo, i dati vengono salvati su supporto MicroSD per garantire la continuità del monitoraggio anche in assenza temporanea di connettività (Fig.5).

Una volta ricevuti, i pacchetti vengono elaborati da una piattaforma Node-RED, ambiente di programmazione visuale che consente la creazione di flussi logici di gestione, analisi e risposta. All'interno di questo sistema, i dati vengono verificati, normalizzati e, se necessario, confrontati con soglie di riferimento predefinite. In caso di superamento di tali soglie, il sistema attiva notifiche automatiche via e-mail, segnali LED o comandi a dispositivi attuatori (Fig.6). Oltre alla risposta in tempo reale, i dati vengono storicizzati in un database NoSQL (MongoDB), permettendo analisi dinamiche, valutazioni delle condizioni ambientali in funzione della stagione o di eventi critici, nonché simulazioni gestionali. Infine, uno script sviluppato in ambiente Dynamo consente di scrivere i dati più rilevanti direttamente all'interno del modello HBIM, aggiornando i parametri degli oggetti e abilitando visualizzazioni tematiche dinamiche (Fig.7).

Digital Twin per la gestione della qualità ambientale e degli afflussi

Con l'integrazione tra rilievo geometrico, modellazione HBIM e sensoristica IoT, il DT museale si è configurato come un sistema interattivo

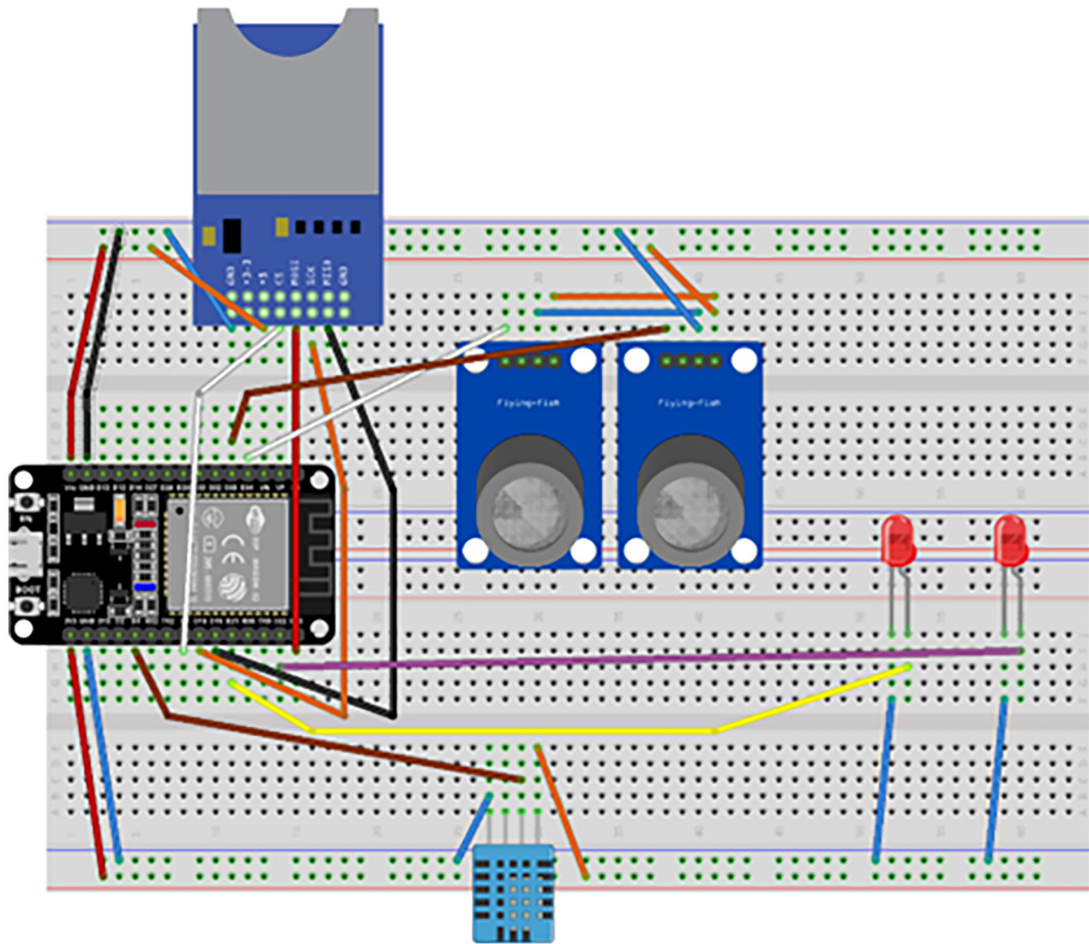


Fig. 5: Prototipo del sistema di monitoraggio ambientale per il Museo di Vibo Valentia, realizzato in Fritzing. Il prototipo include sensori di umidità e temperatura DHT22, sensori di gas MQ-135 e MQ-2, un lettore di scheda MicroSD per la registrazione dei dati e due LED di stato, tutti collegati al modulo ESP32 (elaborazione degli autori).

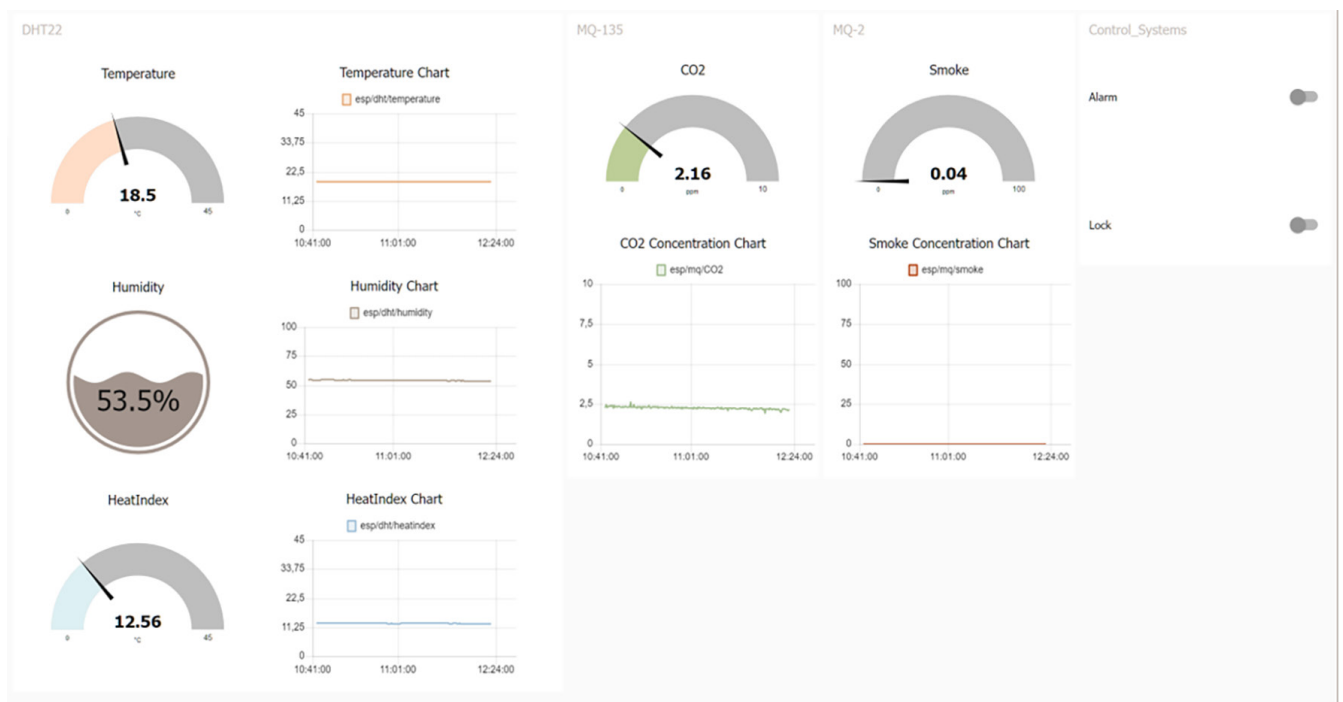


Fig. 6: Dashboard in Node-RED per visualizzazione in tempo reale e controllo bidirezionale attuatori/modello digitale (elaborazione degli autori).

capace di riflettere in tempo reale le condizioni ambientali e i flussi di utenza, traducendo i dati in strumenti operativi per la gestione del museo [11]. Il modello digitale, ospitato su piattaforma Autodesk Tandem e aggiornato dinamicamente attraverso il protocollo MQTT, rappresenta l'interfaccia principale per l'interpretazione e la visualizzazione delle informazioni, consentendo al personale di accedere ai dati da qualsiasi postazione connessa (Fig. 8).

La piattaforma consente di mappare ogni sensore a una specifica istanza del modello HBIM, aggiornando il suo stato con dati storicizzati o in tempo reale. Questo significa che, ad esempio, una sala con un sensore ambientale associato potrà cambiare colore in base alla concentrazione di CO₂ rilevata, segnalando con una semplice scala cromatica se l'aria è salubre o potenzialmente nociva. Tale rappresentazione visiva, comprensibile anche da utenti non tecnici, migliora l'efficacia operativa e riduce il tempo necessario per l'individuazione di situazioni critiche.

Un ulteriore vantaggio offerto dal DT è la capacità di correlare i parametri ambientali con i dati relativi ai flussi di visitatori. Attraverso l'analisi delle curve di presenza e delle soglie di affollamento, è stato possibile comprendere le dinamiche di frequentazione del museo in diverse fasce orarie, in funzione dei giorni della settimana e degli eventi speciali. Questi dati consentiranno al personale di pianificare l'apertura e la chiusura di alcune sale, di modulare la ventilazione naturale e/o artificiale e di migliorare l'organizzazione

dei percorsi di visita, riducendo la sovrapposizione dei flussi e limitando l'usura dei percorsi più trafficati.

Particolarmente efficace si è rivelato l'utilizzo del sistema di alert automatici: quando i sensori rilevano condizioni anomale, ad esempio un'elevata concentrazione di anidride carbonica in una sala affollata, viene inviata una notifica agli operatori che possono intervenire tempestivamente, attivando l'apertura delle finestre o l'incremento del ricambio d'aria. In alcuni casi, sono stati predisposti micro-attuatori connessi al sistema, in grado di attivarsi automaticamente al superamento di soglie prestabilite, garantendo un'azione immediata e localizzata.

Tutti i dati raccolti sono stati archiviati in una struttura temporale che consente non solo la consultazione in tempo reale, ma anche l'analisi storica. L'esame dei pattern di comportamento ambientale e di afflusso ha permesso di sviluppare un primo livello predittivo, finalizzato a supportare una gestione più efficiente: dalla riduzione degli interventi non necessari all'ottimizzazione dell'uso delle risorse, con conseguente risparmio economico, capacità di risposta mirata a guasti improvvisi, e miglioramento della qualità ambientale e del comfort percepito dagli occupanti. L'infrastruttura è stata progettata per evolversi verso l'integrazione di modelli predittivi più complessi, basati su algoritmi di apprendimento automatico, capaci di suggerire interventi manutentivi o gestionali prima che le condizioni critiche si manifestino.

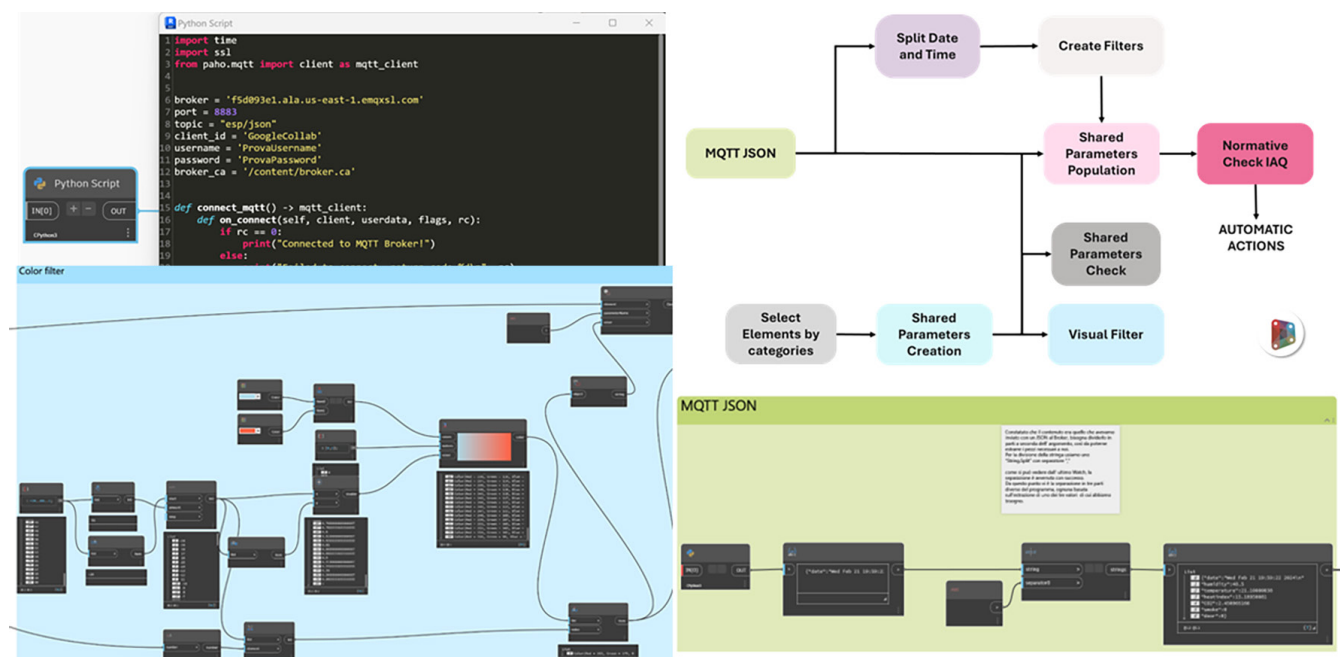


Fig. 7: Script VPL in Dynamo per lettura dati MQTT in tempo reale, compilazione automatica dei parametri e visualizzazione con filtro colorimetrico (elaborazione degli autori).

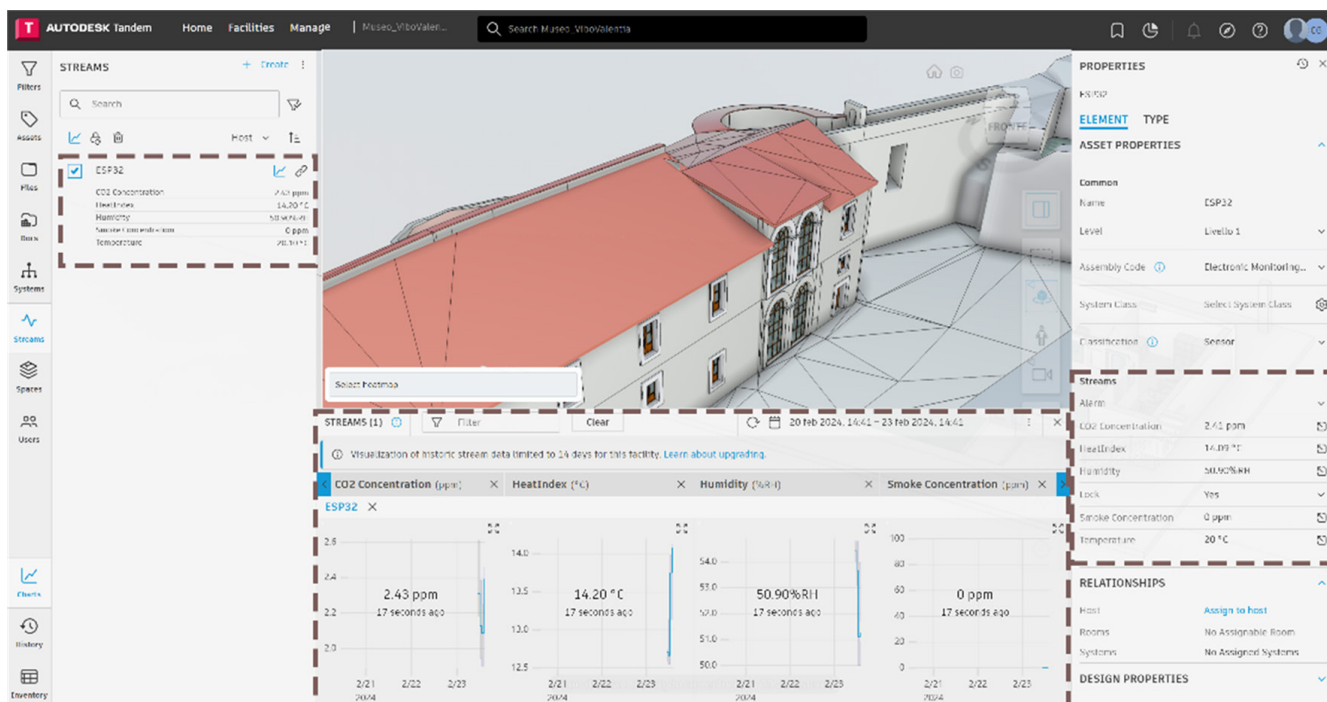


Fig. 8: Piattaforma Cloud Autodesk Tandem. il sistema DT è stato correttamente collegato. In streams c'è l'ESP32 correttamente connesso, che legge i dati dinamici relativi ai parametri ambientali (elaborazione degli autori).

Conclusioni

Il percorso sperimentale descritto dimostra in modo chiaro come l'applicazione del paradigma del DT nei contesti museali sia non solo tecnicamente fattibile, ma anche estremamente vantaggiosa sul piano operativo, conservativo e gestionale. La capacità di integrare rilievi ad alta risoluzione, modellazione informativa e sensoristica ambientale consente di costruire un sistema digitale vivo, capace di riflettere il comportamento reale dell'edificio e di anticipare situazioni critiche. In un'epoca in cui la tutela del patrimonio si gioca sempre più sul terreno della prevenzione, della rapidità di intervento e della sostenibilità, il DT rappresenta un'opzione strategica che può rinnovare in profondità le pratiche del settore.

Tra i principali risultati ottenuti vi è la possibilità di monitorare in tempo reale le condizioni termoi-grometriche delle sale, di correlare questi dati con il numero di visitatori e di reagire prontamente al superamento di soglie critiche. Inoltre, il sistema ha permesso di ridurre il tempo di diagnosi e di azione, migliorando la conservazione delle opere, il comfort dei visitatori e la qualità generale della fruizione. L'architettura flessibile, basata su standard interoperabili e su tecnologie open-source, garantisce una scalabilità che la rende replicabile in altri musei, biblioteche, archivi o edifici storici, indipendentemente dalla loro dimensione o complessità.

In prospettiva, l'integrazione con algoritmi di intelligenza artificiale, la connessione a piattaforme

immersive in realtà virtuale e aumentata e l'adozione di infrastrutture cloud-native abiliteranno nuove modalità di analisi, simulazione e interazione, ampliando ulteriormente il potenziale del Digital Twin nel settore dei beni culturali.

Bibliografia

Antuono, G., D'Agostino, P., & Maglio, A. (2021). Enrichment and sharing for historical architectures: A multidisciplinary HBIM approach. *Eikonocity. Storia e Iconografia delle Città e dei Siti Europei*, 6(2), 41–65. <https://doi.org/10.6093/2499-1422/8234>

Chiabrando F., Lo Turco M., Rinaudo F. (2017). Modeling the Decay in an HBIM Starting from 3D Point Clouds. In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, vol. XLII-2/W5, pp. 605–612. In: *3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures* (3D-ARCH 2017). Nafplio (Greece), 2–4 March 2017. Göttingen: Copernicus GmbH.

Dell'Unto, N., Poggi, G., Bolognesi, C., Bacci, G., & Ferdani, D. (2022). A digital twin for cultural heritage: A reflective analysis on challenges and opportunities. *Applied Sciences*, 12(3), 1276. Basel: MDPI.

Di Filippo, A., Sánchez-Aparicio, L. J., Barba, S., Martín-Jiménez, J. A., Mora, R., & González

Aguilera, D. (2018). Use of a wearable mobile laser system in seamless indoor 3D mapping of a complex historical site. *Remote Sensing*, 10, 1897. Basel: MDPI.

Empler T., Caldarone A., Rossi M.L. (2021). "BIM Survey". Critical Reflections on the Built Heritage's Survey. In: F. Banfi, C. Brumana, S. Previtali (a cura di). Digital Transformation of the Built Environment. In *Springer Tracts in Civil Engineering*, pp. 109–122. Cham: Springer.

Fassi, F., Parri, S., Troisi, S., & Achille, C. (2020). Towards digital twins for cultural heritage through reality-based modelling. *Journal of Cultural Heritage*, 46, 251–258. Amsterdam: Elsevier.

López, F. J., Lerones, P. M., Llamas, J., García-Bermejo, J. G., & Zalama, E. (2022). Integration of HBIM and IoT for preventive conservation in historical buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 55, 197–206. Amsterdam: Elsevier.

Messina, B., Ferreyra, C., & Hernández, L. A. (2023). Processo di digitalizzazione in HBIM per la gestione ampliata del patrimonio culturale. La Lonja de Zaragoza / Digitization process in HBIM for extended cultural heritage management. *DISÉGNO – Open Access*, 707–726. Milano: FrancoAngeli.

Parrinello S., Picchio F. (2019). Integration and Comparison of Close-Range SfM Methodologies for the Analysis and the Development of the Historical City Center of Bethlehem. In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, vol. XLII-2/W9, pp. 589–595. In: *International Conference on Geomatics & Geospatial Technology*. Kuala Lumpur (Malaysia), 1–3 October 2019. Göttingen: Copernicus GmbH.

Sun, Z., Tang, P., Castro-Lacouture, D., & Lu, Y. (2019). As-built BIM for a fifteenth-century Chinese brick structure at various LoDs. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(12), 577. Basel: MDPI.

Yang, X., Wang, X., Kang, Z., & Hu, J. (2019). HBIM modeling from the surface mesh and its extended capability of knowledge representation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(7), 301. Basel: MDPI.

METHODOLOGIES AND PRACTICES IN SURVEYING ANTIQUITY: ANTONIO DA SANGALLO THE YOUNGER, RAPHAEL, AND THE MAP OF ANCIENT ROME

Authors

Simone Lucchetti¹, Alessandro Viscogliosi¹

¹ Sapienza Università di Roma, Dipartimento Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

Email

simone.lucchetti@uniroma1.it
alessandro.viscogliosi@uniroma1.it

Keywords

RAPHAEL
ANTONIO DA SANGALLO THE YOUNGER
MAP OF ANCIENT ROME
ARCHITECTURAL SURVEY
HISTORY OF ARCHITECTURE

Abstract

Architectural surveying underwent a profound transformation from the Middle Ages to the Renaissance, evolving from a technique of documentation into a critical and cultural tool for understanding the past and shaping modern design. This study examines Raphael's project for the map of ancient Rome, developed with the collaboration of Antonio da Sangallo the Younger, as an exemplary case in the cultural and methodological evolution of architectural survey. Sangallo's approach, combined with Raphael's ambitious and unified vision, illustrates how surveying was employed as an instrument of investigation and interpretation, aimed at reconstructing the then fragmentary knowledge of the Roman world.

Knowledge and Practice of Surveying from the Middle Ages to the Renaissance

Architectural surveying was undoubtedly one of the cornerstones of an architect's theoretical and professional training, from the moment it ceased to be merely a technical operation aimed at cataloguing and recording immovable heritage and became instead a critical and cultural practice—albeit one whose objectives varied across different historical periods¹. The period between the eleventh and fourteenth centuries laid the foundations for all

1_ While fully sharing the work presented, during the writing phase Simone Lucchetti was responsible for the paragraph "Antonio da Sangallo the Younger's Critical Survey in Drawings GDSU A 896, 1123, 1139r" and Alessandro Viscogliosi for the paragraph "Knowledge and Practice of Surveying from the Middle Ages to the Renaissance". According to a well-established tradition, disciplines related to surveying, and in particular geometry, originated as a response to the need to solve technical problems with practical solutions, as recalled in the *Prologus* of Gerbert of Aurillac: «*Haec vero disciplina, ut simplicibus loquar, quia indoctos doceo, a terrae mensura graecum nomen accepit: ἡ γὰρ ἐνὶ γαίᾳ γλῶσση γῆ, μέτρον mensura dicitur. Hujus inventores primi traduntur Aegyptii, qui propter Nili fluminis eluvionem, agrorum limites inundatione sui saepius confundentis, talis solertiam artis excogitavere, cujus exercitatione sui quisque quantitatem agelli facilius a contiguo posset secernere. Sed quamvis ad dimensionis terrae utilitatem primitus inventa vocabulumque inde sortita sit, a posterioribus tamen rationem ejus diligentius investigantibus, ad alia quoque nonnulla, quae vel cognitu utilia, vel exercitio jocunda videbantur, speculatio ejus accommodata est*». OLLERIS 1867, p. 51. On surveying techniques in the Middle Ages, see Cfr. BIANCHINI 1994.

the advancements later developed and systematized, thanks to a series of interconnected factors: the progress of architectural construction techniques; the rise of the merchant class and their travels across the world; contact with the Arab world; and the rediscovery of Greek and Latin works². From these factors there followed an exponential growth in geographical knowledge, made evident by works such as the *Tabula Rogeriana* (Fig. 1), as well as in nautical cartography, from which centuries of accumulated experience produced masterpieces such as the *Carta Pisana* of the fourteenth century³, in which the Mediterranean basin and the Atlantic coast—from the Strait of Gibraltar to northern France—were represented with remarkable accuracy⁴. From an architectural perspective, the source that undoubtedly constitutes a cornerstone in the field

2_ Although the evolution of human thought, and of its sciences, developed continuously across the ages, and even the results of the smallest technical advancements can rarely be attributed to a single historical event isolated in time and space, for the sake of clarity it is possible to identify certain milestones that significantly contributed to progress in the field of surveying. Among these is undoubtedly the translation from Arabic of Euclid's *Elements*, Theodosius' *Spherics*, and works on trigonometry by Arzachel, from which masterpieces such as Fibonacci's *Liber Abaci* and *Pratica Geometriae* later emerged. For a comprehensive discussion on the history of architectural and urban surveying see DOCCI, MAESTRI 1984 ; 1993.

3_ On the dating of the *Carta Pisana*, see RAMON 2013.

4_ For a long time, the graphic, technical, and scientific quality of nautical charts was superior to that of terrestrial maps, as cartographic schools had developed over time. TRAVERSI 1968.



Fig. 1: *Tabula Rogeriana*, 1929 reproduction based on the copy preserved at the Bibliothèque nationale de France, Département des Manuscrits, Arabe 2221 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/TabulaRogeriana_upside-down.jpg].

of graphic representation is the *Livre de portraiture*⁵, the work of the French architect Villard de Honnecourt. It consists of thirty-three sheets of parchment⁶, bound in the form of a notebook, written and drawn on both sides. The drawings not only provide valuable graphic documentation of allegorical scenes, religious images, depictions of figures and animals, geometric studies, and representations of military or construction machines, but also constitute the sole surviving testimony of the period regarding a neatly compiled collection of notes on architectural composition and construction practice (Fig. 2).

The drawings are presented in heterogeneous forms, including pseudo-axonometric views [Lassus 1858, fgl. 6v, 30v, 31r], plans [Lassus 1858, fgl. 15r, 17r, 21r], elevations [Lassus 1858, fgl. 31v], and schematic sections [Lassus 1858, fgl. 17v, 32v], yet with an appropriate level of detail dictated by the empirically inferred scale of representation.

Furthermore, the quality of the drawings attests to the author's professional skill and experience,

5_ The book was discovered by J. Quicherat in 1849 at the Saint-Germain-des-Prés Library in Paris and published by J. B. A. Lassus in 1858. For studies on the work of Villard de Honnecourt BECHMANN 1991 ; BECHMANN ET AL. 1986 ; HAMON 2007 ; LALBAT, MARGUERITTE, MARTIN 1987 ; 1989 ; LASSUS 1858 ; WIRTH 2015.

6_ Originally, the sheets were meant to be forty-one, according to a note in the notebook. BRILLAUD 2009.

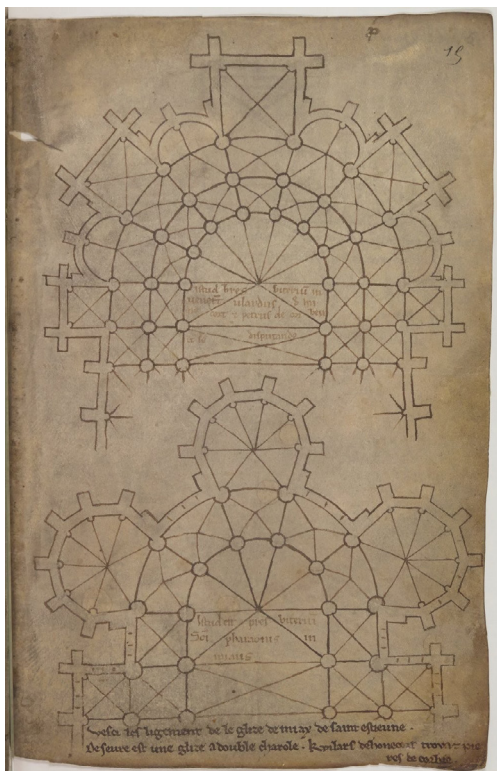


Fig. 2: Villard de Honnecourt, Album of Drawings, ms. Fr. 19093, Folio 15r [<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bt-v1b10509412z/f31.item>].

which, as has been noted [Docci, Maestri 1984, pp. 50–53], simultaneously highlights the impossibility for the notebook to be regarded as a unique exemplar within medieval architectural practice, instead representing a fortunate surviving instance, analogous to the case of ancient architecture and Vitruvius' treatise⁷. An apparently secondary, yet decidedly innovative aspect concerns the architect's ability not merely to depict individual geometrical elements on parchment, but to relate, through orthogonal projections, various aspects of the architectural construction in order to render a synchronous reading of both the interior and exterior elevations of Reims Cathedral [Lassus 1858, fgl. 31v].

A similar mental approach is evident, approximately a century and a half later, in the drawings of Antonio di Vincenzo, who in 1389, while surveying the Duomo of Milan [Frommel 1994, p. 102], sequentially represented the transverse section relative to the plan, flipping the former in orthogonal projection and superimposing it onto the latter at the height of the last two bays of the central nave, just before the intersection with the *Vierung*, or crossing (Fig. 3) [Schofield, Ceriani Sebregondi 2015]. Surveying was thus employed as a technical tool to solve practical problems, such as determining the dimensions of an inaccessible window, measuring the width of a river, or assessing the height

7_ For a critical discussion of *De Architectura*, see ÉCOLE FRANÇAISE DE ROME 1994.

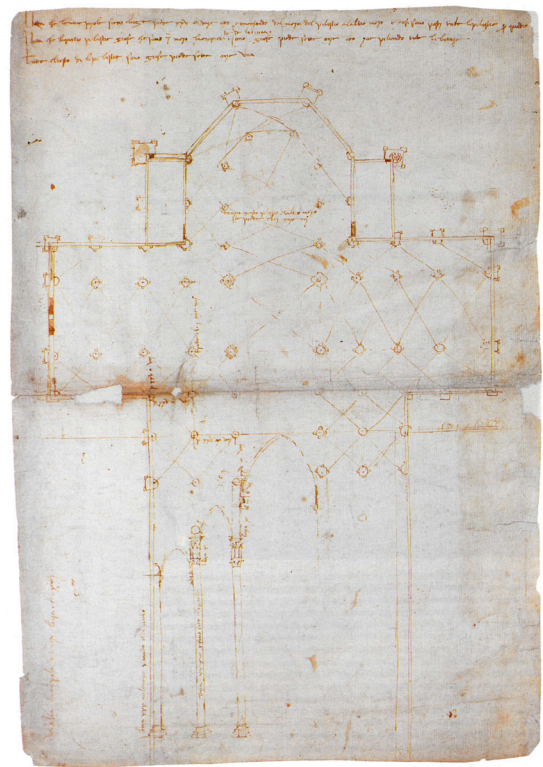


Fig. 3: Antonio di Vincenzo, *Plan and Section of the Duomo of Milan*, 15th century, Bologna, Archivio della Fabbrica di San Petronio, cart. 389, 1 (from Schofield, Ceriani Sebregondi 2015).

of an enemy tower (Fig. 4) in order to accurately calculate the range required for the successful execution of a siege [Lassus 1858, fgl. 20r, 20v].

In the Renaissance, however, the conception of surveying changed. Unlike the present day, when surveying is used as a tool to understand the existing state of a building, it was employed by architects as a means to “understand the underlying rules governing the construction of ancient buildings, rules which, while allowing a high degree of technical and constructive freedom, they could apply to solve the building problems of their own time” [Docci, Maestri 1993, p. 63].

Therefore, from the fifteenth century onwards, the construction of modern architectural works was carried out with designs and concepts informed by the surveying of ancient buildings, which were taken as stylistic models to draw from both for structural and constructive solutions as well as for artistic and formal ones, simultaneously with the study and interpretation of Vitruvius’ text.

Indeed, the studies of ancient monuments carried out by artists such as Piero della Francesca, Francesco di Giorgio Martini, or Domenico Corradi, known

as il Ghirlandaio, are well known. Initially, these studies were conducted in an almost empirical manner, with surveys often acquired by eye⁸ and transferred to paper through linear diagrams frequently lacking measurements, later evolving over the following years into much more systematic operational methods.

Between the late fifteenth and early sixteenth centuries, artists such as Antonio da Sangallo the Elder, his brother Giuliano, and his nephew Antonio the Younger approached the drawing of ancient buildings in a more systematic and structured manner. They no longer transferred to paper mere wireframe diagrams intended for the study of spatial organization and the hierarchical relationships between spaces (Fig. 5), but enriched their representations with measurements, annotations, and, at times, hypothetical completions, consciously employing plan, elevation, and section⁹.

Attention was focused on the study of ancient architectural orders and construction techniques, on classical spatiality, and on surveying architectural details and decorative elements, with the aim of enriching the know-how of young scholars (Fig. 6). However, as will be shown, it is possible to make a further distinction in Renaissance practice to avoid reducing it to a mere cataloguing exercise—that is, a repertoire of decorative and architectural motifs derived from the ancient world, to be reproduced slavishly or with personal reinterpretation—but also as a cultural operation aimed at investigating and reconstructing the appearance of the ancient city, as in the case of Raphael’s project for the map of ancient Rome [Viscogliosi 2017].

Antonio da Sangallo the Younger’s Critical Survey in Drawings GDSU A 896, 1123, 1139r

Raphael’s intention to engage with an ambitious project that had already failed and been abandoned

8_ A famous testimony is provided by Vasari regarding Ghirlandaio’s ability to reproduce the antiquities of Rome “by eye” and directly to scale: «Dicono che ritraendo anticaglie di Roma, archi, terme, colonne, colisei, aguglie, anfiteatri et acquadotti, era sì giusto nel disegno che le faceva a occhio, senza regolo o seste e misure; e misurandole da poi fatte che l’aveva, erano giustissime come se e’ le avesse misurate. E ritraendo a occhio il Coliseo, vi fece una figura ritta appiè, che misurando quella tutto l’edificio si misurava». VASARI ET AL. 2000, p. 468.

9_ By the beginning of the sixteenth century, the methodological approach of surveying buildings using these three types of planar projections had already become an established practice with Bramante, Antonio da Sangallo the Younger, and Raphael. The methodological principles of the latter are known, as they are reported in detail in Raphael’s well-known letter to Pope Leo X; see VISCONTI 1840, p. 34.

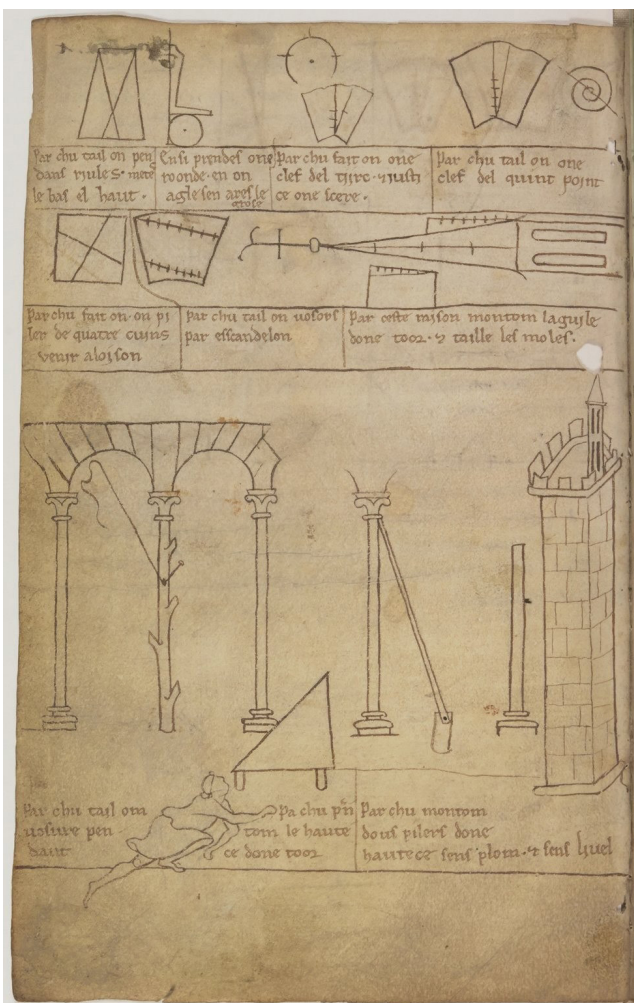


Fig. 4: Villard de Honnecourt, Album of Drawings, ms. Fr. 19093, Folio 20v [<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b10509412z/f42.item>]

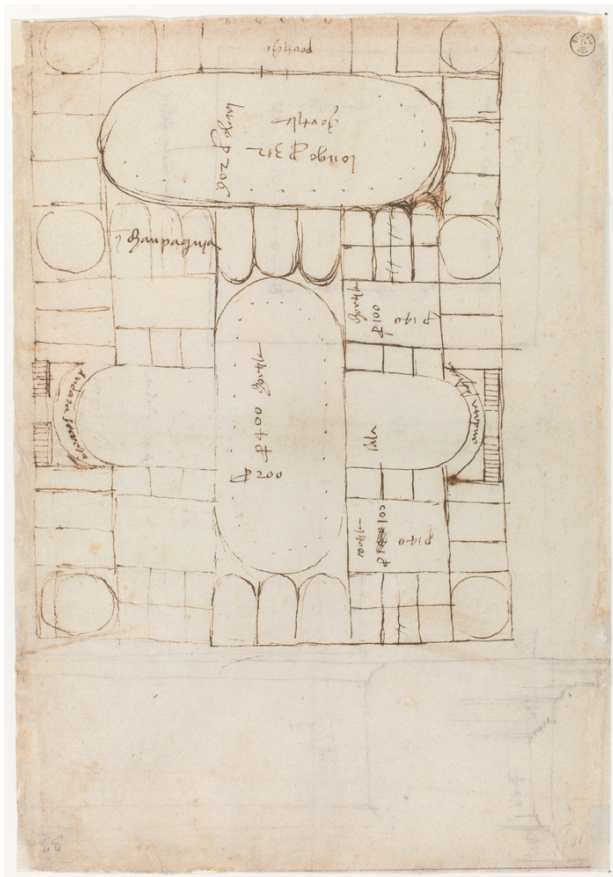


Fig. 5: Francesco di Giorgio Martini, *Plan Scheme of an Ancient Monumental Complex*; the measurements are expressed in "piedi," Florence, Gallerie degli Uffizi, Gabinetto dei Disegni e delle Stampe, inv. 328 A r [<https://database.census.de/detail/46359>].

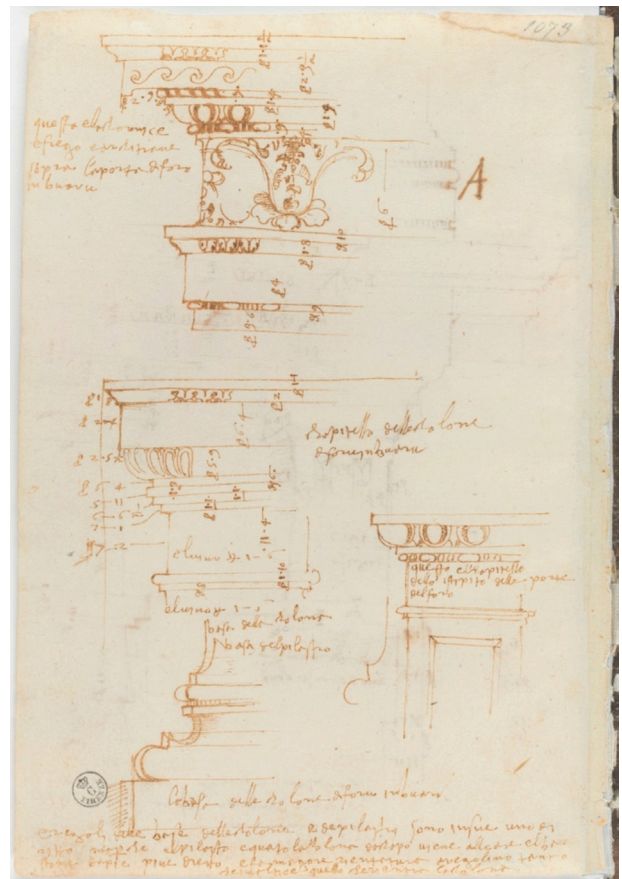


Fig. 6: Antonio da Sangallo the Elder, *Survey of the Basilica Aemilia*, Codex Strozzi, Florence, Gallerie degli Uffizi, Gabinetto dei Disegni e delle Stampe, inv. A 1594 r [<https://database.census.de/detail/48254>].

by others [Viscogliosi 2005], namely the creation of the map of ancient Rome, is made explicit in his letter to Leo X, in which the artist—or someone on his behalf¹⁰—presents the subject as if delivering a Latin oration. The opening section begins with an *exordium*, in which the author's intentions are clearly stated: to study the ancients through the direct analysis of buildings and their comparison with classical texts, in order to understand why "many things that seem impossible to us were exceedingly easy for them." The *narratio* develops through an examination of the state of preservation of Rome's monuments and the importance of safeguarding them, since only through a structured process of understanding the builders of the past is it possible to "equal and surpass them." The *confirmatio* is based on the author's eyewitness testimony, as in fewer than eleven years of residence in Rome he observes

10_ Raphael did not possess the expertise to read and express himself in the language of the Romans, so he had Vitruvius' treatise translated by Fabio Calvo of Ravenna, see FONTANA 1975. Similarly, the rhetorical style employed in the letter to Leo X is attributed to Baldassarre Castiglione, see FRANCESCONI 1799.

numerous and severe destructions¹¹, while the *refutatio* is constructed around an implicit and recurring antithesis, namely the idea that the addressee of the oration may be unable to grasp the concept, and therefore might be considered potentially entitled to question its utility and feasibility.

Setting aside the portion of the treatise composed solely of the exposition of technical and operational measures¹², the composition concludes with the *peroratio*, aimed at persuading the pontiff—not through rhetorical devices intended to elicit an emotional response, but rather through a series of carefully crafted compliments¹³.

11_ «Nè senza molta compassione posso io ricordarmi, che, poich'io sono in Roma, che ancor non è l'undecimo anno, sono state ruinate tante cose belle come la meta ch'era nella via alessandrina, l'arco mal'avventurato, tante colonne e templi, massimamente da messer Bartolommeo della Rovere». VISCONTI 1840, p. 18.

12_ See note 8.

13_ «[...] siccome potrò dire d'essere fortunatissimo tra tutti li suoi più divoti servitori; così anderò predicando di riconoscere l'occasione di essa mia avventura dalla santa mano di vostra beatitudine, alla quale bacio umilissima-

Antonio da Sangallo's role in the project of the map of Rome is made evident by the way he initially surveyed, similarly to Baldassarre Peruzzi, the northwest corner¹⁴ of the *Forum Transitorium*, and subsequently the other visible and surveyable spaces between the Forum of Augustus and the Curia, as the drawings clearly demonstrate the implementation of the guidelines previously established by Raphael¹⁵.

In drawing GDSU A 1123 (Fig. 7), Antonio surveys the eastern sector of the Forum of Nerva and depicts, prior to the demolitions carried out under Pope Paul V, the most accurate graphic representation known to date of the Temple of Minerva.

The support consists of a white paper sheet measuring 496 mm in width and 340.1 mm in height and represents the "cleaned-up" version of sheet GDSU 1299 A.

What makes this drawing particularly significant is undoubtedly the presence of the doors

mente li santissimi piedi». VISCONTI 1840, p. 35.

14_ For the sake of convenience in the present discussion, a conventional orientation will be used, with Piazza Venezia representing the North, the Monti district the East, the Colosseum the South, and the Roman Forum the West.

15_ For the reconstruction of the operational methodology employed by Antonio, see VISCOGLIOSI 2017, pp. 102–103.

connecting the *porticus absidata* to the cella of the Temple of Minerva, as these passages must already have been closed in antiquity, when the temple was relocated from the western sector to the space between the southeastern exedra of the Forum of Augustus and the monumental access to the Suburra. Antonio not only selects and filters the information to be recorded on paper according to the relevant historical period, but despite the vague concept of the ancient world—which represented a major limitation for a Renaissance architect—he manages to represent a diachronic plan of the eastern sector of the Forum of Nerva, in which the rooms of the first phase of the forum, the so-called Forum of Domitian, and the Temple of Minerva coexist.

Although it is not possible to determine from the drawings whether this intention can be attributed to Antonio himself or if he was following a programmatic and detailed plan dictated by Raphael, what is evident is the desire not to depict a collection of "antiquarian" elements, but rather "archaeological" elaborations, justifiable only within the context of the project for the map of ancient Rome.

Drawing GDSU A 1139 recto (Fig. 8) is executed on a white paper sheet measuring 550 mm in width and 380.1 mm in height, on which the author represents

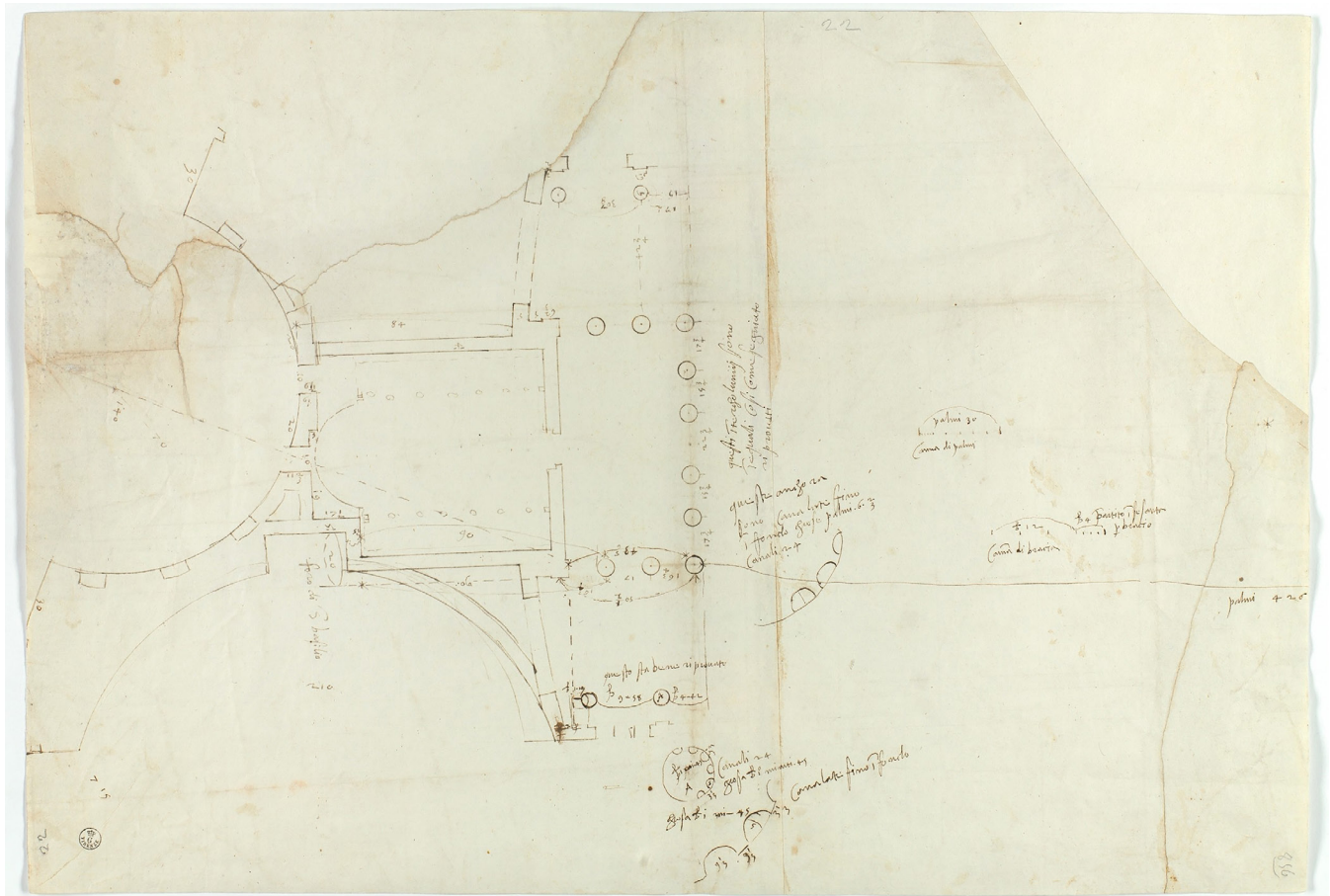


Fig. 7: Antonio da Sangallo the Younger, *Topographic Survey of the Eastern Side of the Forum of Nerva*, Florence, Gallerie degli Uffizi, Gabinetto dei Disegni e delle Stampe, inv. 1123 A.

the remains of the Forum of Augustus. The depicted spaces include the Aula del Colosso, the Temple of Mars Ultor, the double access system to the forum, the Arch of the Pantani, the portico, half of the southern hemicycle, and some indications of the Temple of Minerva in the Forum Transitorium.

Perhaps the most interesting detail of the sheet concerns the depiction of the open door in the curved section of the *porticus absidata*, since not being recorded in other sources, it establishes a direct connection between sheets GDSU A 1123 and GDSU A 1139 recto. The two drawings appear to have been conceived to be assembled together and are therefore not to be regarded as "cleaned-up" representations of various, recognizable portions of the imperial fora, but rather as a unified project aimed at the reconstruction of a renewed *Forma Urbis*.

This hypothesis is supported by similar features observable in sheet GDSU A 896¹⁶. The drawing (Fig. 9) is a cleaned-up and annotated reworking of sheet GDSU 1143 A recto¹⁷, in which the author's attention

is focused on identifying—and thus surveying—the ancient components of the block corresponding to the churches of Sant'Adriano and Santa Martina.

In addition to corrections to the overall planimetric layout based on attributing the statue of Marforio the role of a topographic reference point, the sheet provides valuable information on the graphic conventions adopted by the author. The drawing, executed on a white paper sheet measuring 475 mm in width and 348.1 mm in height, faithfully represents the subject at a scale of 1:200, in a manner still conventionally employed today¹⁸. By placing this sheet on a planimetric base appropriately scaled and using the southwest corner of the Forum of Nerva and the Curia as reference points, the drawing is practically superimposable on any modern survey.

Including in the scaling and superimposition process the two previously analyzed sheets, which correspond to the same scale of representation, the

with a five-by-five palmi grid. See *Ibidem*, pp. 102–104.

16_ For a critical and detailed description of the sheet, see VISCOGLIOSI 2000, pp. 105–108.

17_ The drawing constitutes a measured and annotated eidotype, executed on a squared paper sheet structured

18_ For overall plans, scales of 1:1000, 1:500, and 1:200 are normally used, depending on the size of the architectural structure, whereas for the representation of individual plans, scales of 1:100, 1:50, and, when the dimensions allow, 1:20 are generally chosen.

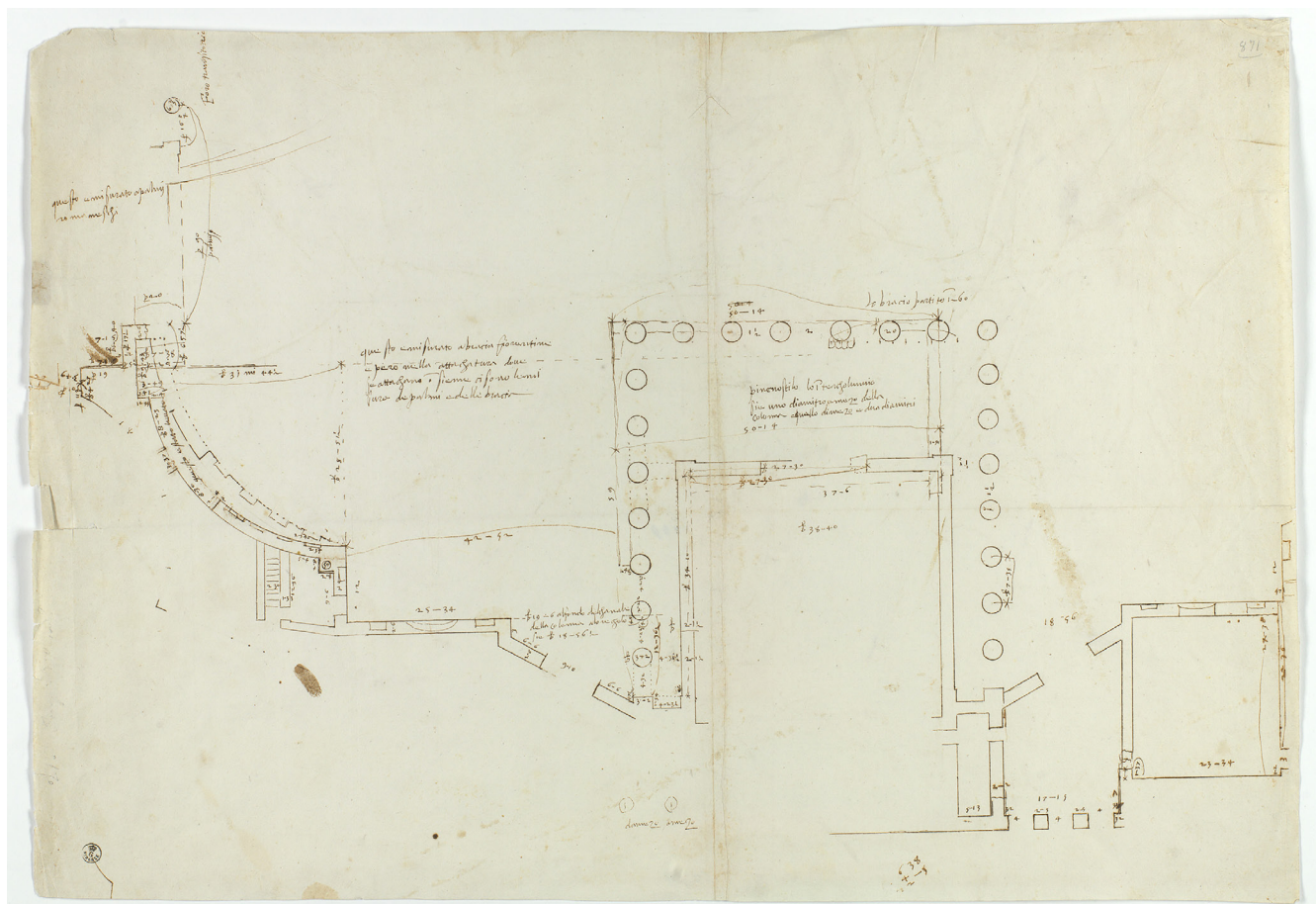


Fig. 8: Antonio da Sangallo the Younger, *Topographic Survey of the Eastern Side of the Forum of Augustus*, Florence, Gallerie degli Uffizi, Gabinetto dei Disegni e delle Stampe, inv. 1139 A r.

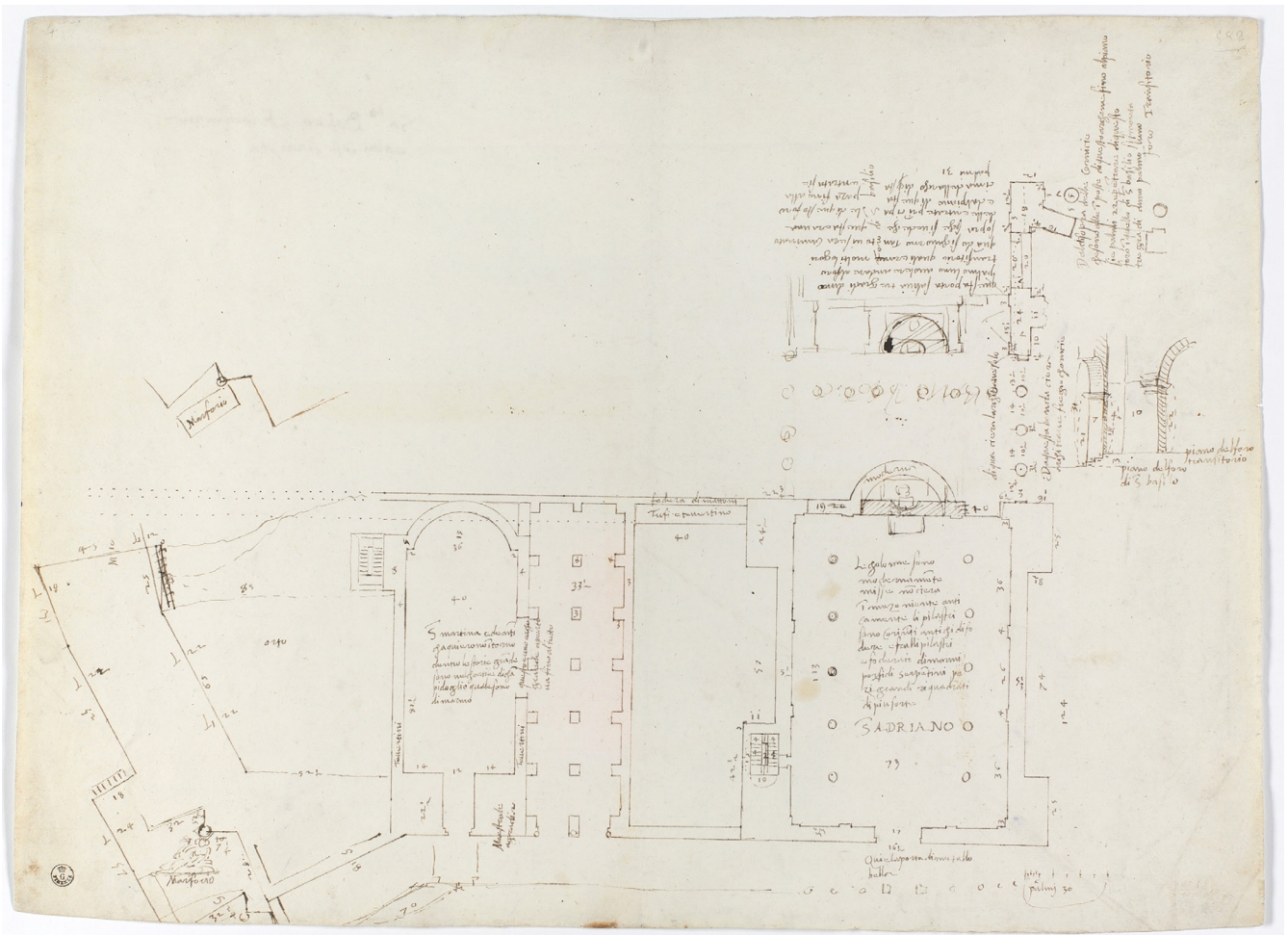


Fig. 9: Antonio da Sangallo the Younger, *Survey of the Plan of the "Marforio" Complex*, Santa Martina, Curia/Sant'Adriano, Florence, Gallerie degli Uffizi, Gabinetto dei Disegni e delle Stampe, inv. 896 A.

uniformity of the draftsmanship and the coherence of the graphic representation, attributable to a single layout at 1:200 scale, becomes evident (Fig. 10).

It is therefore reasonable to consider that these three drawings were part of a single group, clearly in a state of "advanced draft," produced with the aim of forming the base material for the topographic map of ancient Rome that Raphael intended to present to Leo X, but whose premature death likely brought an end to this ambitious project.

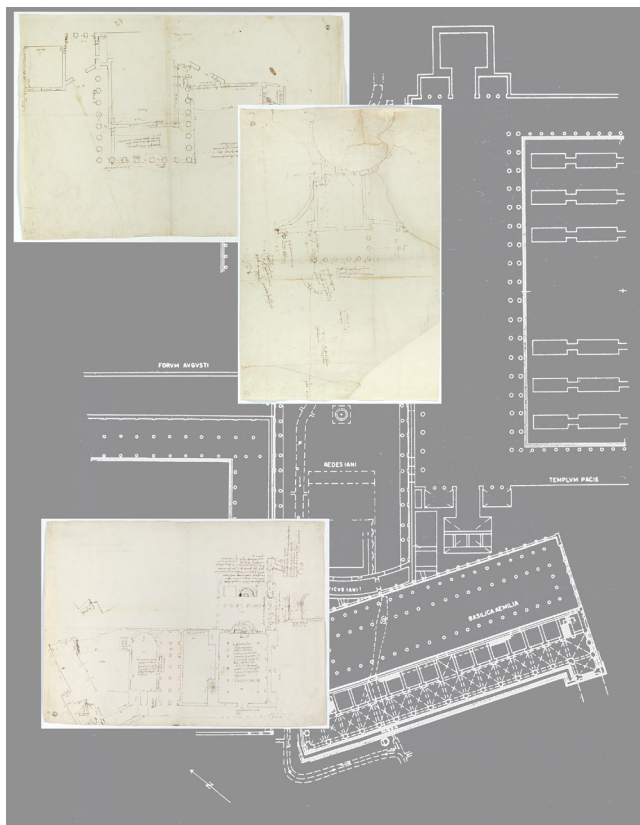


Fig. 10: Assembly of sheets 1139 A r and 1123 A with 896 A, Florence, Gallerie degli Uffizi, Gabinetto dei Disegni e delle Stampe (elaboration by S. Lucchetti).

Bibliography

Bechmann, R. (1991). *Villard de Honnecourt: La pensée technique au XIII^e siècle et sa communication*. Paris: Picard.

Bechmann, R., Erlande-Brandenburg, A., Gimpel, J., & Pernoud, R. (1986). *Carnet de Villard de Honnecourt: D'après le manuscrit conservé à la Bibliothèque nationale de Paris (n° 19093)*. Paris: Stock.

Bianchini, C. (1994). Tecniche medievali di rilevamento. *Disegnare Idee Immagini*, 9/10, 21–28. Roma: Gangemi.

Brillaud, R. (2009). Le carnet de Villard de Honnecourt. *Les Cahiers de Science & Vie*, 114, 108–109. Paris: Mondadori France.

Francesconi, D. (1799). *Congettura che una lettera creduta di Baldessar Castiglione sia di Raffaello d'Urbino*. Firenze: Brazzini.

Docci, M., & Maestri, D. (1984). *Il rilevamento architettonico: Storia, metodi e disegno*. Roma: Laterza.

Docci, M., & Maestri, D. (1993). *Storia del rilevamento architettonico e urbano*. Roma: Laterza.

École française de Rome (Ed.). (1994). *Le projet de Vitruve: Objet, destinataires et réception du De architectura*. Rome: École française de Rome.

Fontana, V. (1975). *Vitruvio e Raffaello: Il «De architectura» di Vitruvio nella traduzione inedita di Fabio Calvo ravennate*. Roma: Officina Edizioni.

Frommel, C. L. (1994). Sulla nascita del disegno architettonico. In *Rinascimento: Da Brunelleschi a Michelangelo. La rappresentazione dell'architettura* (pp. 101–122). Milano: Bompiani.

Hamon, É. (2007). Une source insoupçonnée de l'architecture flamboyante parisienne: Le carnet de Villard de Honnecourt. *Bulletin Monumental*, 165(3), 281–288. Paris: Société française d'archéologie.

Lalbat, C., Margueritte, G., & Martin, J. (1987). De la stéréotomie médiévale: La coupe des pierres chez Villard de Honnecourt. *Bulletin Monumental*, 145(4), 387–406. Paris: Société française d'archéologie.

Lalbat, C., Margueritte, G., & Martin, J. (1989). De la stéréotomie médiévale: La coupe des pierres chez Villard de Honnecourt (II). *Bulletin Monumental*, 147(1), 11–34. Paris: Société française d'archéologie.

Lassus, J.-B.-A. (1858). *Album de Villard de*

Honnecourt, architecte du XIIIe siècle. Paris: Imprimerie Impériale.

Olleris, A. (1867). *Œuvres de Gerbert, pape sous le nom de Sylvestre II*. Clermont-Ferrand: Thibaud-Landriot.

Ramon, J. (2013). The Pisana Chart: Really a primitive portolan chart made in the 13th century? *Comité Français de Cartographie*, 216, 17–32. Paris: CFC.

Schofield, R., & Ceriani Sebegondi, G. (2015). Disegni di Antonio di Vincenzo per il Duomo di Milano. <https://www.disegniduomomilano.it/disegni/detail/280/>

Traversi, C. (1968). *Tecnica cartografica*. Firenze: Istituto Geografico Militare.

Vasari, G., Bellosi, L., Rossi, A., & Previtali, G. (2000). *Le vite de' più eccellenti architetti, pittori, et scultori italiani, da Cimabue insino a' tempi nostri*. Torino: Einaudi.

Viscogliosi, A. (2000). I Fori imperiali nei disegni d'architettura del primo Cinquecento: Ricerche sull'architettura e l'urbanistica di Roma. Roma: Gangemi Editore.

Viscogliosi, A. (2005). Roma riconosciuta: Dallo studio delle rovine all'idea di Roma Antica. In F. P. Fiore (Ed.), *La Roma di Leon Battista Alberti. Umanisti, architetti e artisti alla scoperta dell'antico nella città del Quattrocento* (pp. 68–79). Milano: Skira.

Viscogliosi, A. (2017). Antonio da Sangallo e Palladio tra foro di Augusto e foro di Nerva: Diverse maniere di osservare l'Antico, tra la pianta di Roma di Raffaello e il Teatro Olimpico. *Annali di Architettura. Rivista del Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio*, 29, 101–116. Vicenza: Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio.

Viscogliosi, A. (2020). La Roma antica di Raffaello e i disegni di topografia dei Fori di Antonio da Sangallo il Giovane: Un'ipotesi di lavoro. In *Raffaello: 1520-1483* (pp. 125–131). Milano: Skira.

Visconti, P. E. (1840). *Raffaello Sanzio: Lettera di Raffaello d'Urbino a papa Leone X, di nuovo posta in luce dal cavaliere Pietro Ercole Visconti*. Roma: Tipografia delle Scienze.

Wirth, J. (2015). *Villard de Honnecourt, architecte du XIIIe siècle*. Paris: Picard.

Modelli informati interattivi per la gestione e valorizzazione del MANN di Napoli

Interactive Information Models for the Management and Enhancement of the National Archaeological Museum of Naples (MANN)

Authors

Alessia Mazzei

Sapienza Università di Roma, Dipartimento Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

Email

alessia.mazzei@uniroma1.it

Keywords

HBIM
GAMIFICATION
ICT
MUSEUMS MANAGEMENT
CULTURAL HERITAGE ENHANCEMENT

Abstract

L'articolo qui presentato, parte della ricerca per una tesi di Dottorato, analizza il modo in cui si sono evolute le tecniche per la rappresentazione, relativamente in particolare alla modellazione di ambienti architettonici contenenti oggetti, e l'influenza che lo sviluppo di tecnologie sempre più avanzate ha su tale evoluzione, permettendo di raggiungere un livello di interazione e conseguente coinvolgimento sempre più elevato tra il soggetto che fruisce del modello ed il modello stesso.

This article, derived from research conducted for a PhD dissertation, examines the evolution of representation techniques, with particular attention to the modelling of architectural environments containing objects. It also investigates how the development of increasingly advanced technologies has influenced this evolution, enabling higher levels of interaction and, consequently, deeper engagement between the user of the model and the model itself.

Il presente articolo è relativo alla prima fase della ricerca per la tesi di Dottorato portata avanti all'interno del ciclo XXXIX in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura presso la Sapienza Università di Roma ed il cui titolo temporaneo è "*Modelli informati interattivi per la gestione e valorizzazione di un museo sito in un edificio di interesse culturale. Il Museo Archeologico Nazionale di Napoli*".

Lo sviluppo di questa ricerca è partito dall'analisi dell'evoluzione delle tecniche di rappresentazione legata allo sviluppo di nuove tecnologie. Ci si riferisce in particolare ai modelli di spazi, reali o immaginati, che contengono modelli di oggetti, anch'essi reali o immaginati, ed all'interattività sempre maggiore di tali modelli, che permette di conseguire un sempre maggiore coinvolgimento del loro utente fruitore.

Partendo dai modelli bidimensionali inizialmente disegnati a mano su supporti fisici, è aumentato man mano il livello di complessità e di ricchezza informativa delle rappresentazioni della realtà, costruita o immaginata.

I modelli bidimensionali permettono l'estrapolazione di viste statiche da singoli punti di vista, non modificabili, generati contemporaneamente alla generazione del modello e coincidenti con esso. Tali modelli permettono poche personalizzazioni: principalmente, la modifica del livello di dettaglio contenuto in quella singola vista o la variazione degli elementi rappresentati in essa, spegnendo o accendendo dettagli posizionati su diversi *layer* sovrapposti, e la modifica della scala di stampa del modello, adeguando gli spessori delle linee in base al valore d'ingrandimento con cui verrà osservato il disegno.

I modelli tridimensionali, oltre a permettere anch'essi l'estrapolazione di viste statiche, non solo con le personalizzazioni già possibili anche nei modelli bidimensionali, ma anche da diversi punti di vista potenzialmente infiniti e generabili anche successivamente alla definizione del modello, permettono in aggiunta una navigazione del modello.

È da segnalare una importante distinzione tra la navigazione possibile all'interno dei modelli tridimensionali fisici e la navigazione possibile all'interno dei modelli digitali.

Nei modelli tridimensionali fisici, generalmente i modelli sono rappresentazioni fisiche realizzate in scala ridotta rispetto alla scala dell'utente. Ciò è dovuto principalmente ad una questione pratica di disponibilità di spazio fisico da occupare, oltre che di costi di realizzazione. Nella maggior parte dei casi, quindi, non c'è immersione dell'utente all'interno del modello fisico, ma una sua visione esterna: l'utente può osservare da diversi punti di vista esterni il modello, girandoci intorno o ruotandolo, può inoltre toccarlo e spostarne parti, ma non può viverlo come se stesse al suo interno a meno che non sia un modello di un ambiente realizzato con dimensioni sufficientemente grandi da permettere

ad un essere umano di posizionarsi e muoversi fisicamente al suo interno.

I modelli tridimensionali digitali hanno permesso di superare quelli che sono generalmente i limiti realizzativi dei modelli fisici, perdendo però, per il momento, le sensazioni della realtà fisica legate ad input non audiovisivi.

La navigazione all'interno dei modelli tridimensionali digitali può essere principalmente di tre tipi. Il primo tipo è un *output* preimpostato, in cui l'utente visualizzatore può visualizzare il modello soltanto lungo uno o più percorsi già impostati, di cui osserva un video in prima persona ma con il punto di vista già prestabilito. Nel secondo tipo aumenta il livello di coinvolgimento oltre che di interattività, tramite l'aggiunta di un primo livello di personalizzazione dei percorsi di navigazione: l'utente visualizzatore può infatti ruotare a piacimento il proprio punto di vista durante il percorso di navigazione preimpostato. Nel terzo tipo vi è un livello di personalizzazione e coinvolgimento maggiore legato alla possibilità, da parte dell'utente, di decidere egli stesso, in tempo reale, come muoversi all'interno del modello, non solo ruotando il proprio punto di vista, ma anche muovendosi al suo interno a piacimento come se si trovasse all'interno di uno spazio reale.

In entrambi i casi di modelli bidimensionali e modelli tridimensionali, è possibile sia la loro rappresentazione fisica, su supporti piani per i modelli bidimensionali e tramite la composizione di elementi tridimensionali per i modelli tridimensionali, sia la loro rappresentazione digitale, tramite modelli disegnati all'interno di *software* di modellazione digitale.

Uno *step* evolutivo successivo di notevole importanza è rappresentato dall'inserimento di informazioni all'interno di modelli digitali, reso possibile dall'avvento del *Building Information Modelling* (BIM) e, specificatamente per gli edifici di interesse culturale appartenenti al patrimonio costruito, dell'*Heritage Building Information Modelling* (HBIM). Il BIM è una metodologia che permette di ottenere un modello digitale informato di un edificio, arricchito di dati sia direttamente contenuti nel modello stesso che connessi esternamente a quest'ultimo, contenuti per esempio all'interno di cartelle collegate al modello e che con esso costituiscono un *Common Data Environment* (CDE). Un modello BIM può quindi essere considerato come un archivio di informazioni relative agli aspetti fisici e funzionali di quell'edificio, di supporto alle fasi di progettazione, costruzione e gestione durante tutto il suo ciclo di vita [buildingSMARTalliance, 2007]. L'HBIM è l'applicazione del BIM agli edifici storici, al patrimonio costruito: esso è utilizzato per la conservazione, gestione, valorizzazione e documentazione del patrimonio costruito, e rende accessibili agli esperti delle diverse discipline i dati finalizzati a tali scopi [Pocobelli et al., 2018; Yang et al., 2020].

Mentre quindi la modellazione non informata fornisce le sole informazioni geometriche degli oggetti, e cioè la loro forma e le loro dimensioni, e le informazioni relative al loro aspetto superficiale se sono ad essi applicati colori oppure *texture*, i modelli informati permettono invece di avere oggetti digitali che non sono solo forme, bidimensionali o tridimensionali, ma contenitori di informazioni alfanumeriche personalizzabili, statiche e/o dinamiche. Tali informazioni possono essere aggiornate manualmente o in automatico. Nel primo caso, l'operatore può agire direttamente all'interno del modello tramite l'apposito *software* di modellazione BIM, oppure può agire modificando manualmente i dati collegati esternamente al modello. Nel secondo caso, le informazioni contenute nel modello possono essere aggiornate in automatico attraverso la connessione, tramite sensori, del modello con quella parte di mondo reale di cui può divenire il gemello digitale.

Lo sviluppo e la diffusione della modellazione informata costituiscono uno *step* evolutivo importante per il netto divario che c'è tra le possibilità di arricchimento informativo di un modello digitale rispetto alle possibilità di arricchimento informativo di un modello fisico: alla generale staticità e limitatezza, ad eccezione di particolari ed elaborate realizzazioni, delle informazioni che possono essere incluse in un modello fisico si contrappone l'agevole dinamicità ed il numero potenzialmente infinito delle informazioni che possono essere incluse in un modello digitale informato. Quest'ultimo aspetto dell'arricchimento informativo, la sua potenziale illimitatezza, fa sì che una fase molto importante della modellazione informata è relativa alla scelta degli obiettivi del modello, che implica un'attenta selezione ed organizzazione delle informazioni, realizzando un simulacro digitale in cui sono raccolte, organizzate, gestite e visualizzate tutte le informazioni relative a specifici aspetti di un determinato oggetto, individuando quindi gli elementi significativi di quello specifico oggetto e creando così un modello che permetta di comprenderlo e gestirlo relativamente agli aspetti ed agli scopi per cui si è realizzato il suo modello [Empler, 2016].

Oltre a quanto è già ottenibile tramite le tecniche di rappresentazione precedentemente citate, il modello informato permette di associare, ad ogni oggetto modellato, informazioni alfanumeriche sia comuni a più oggetti che specifiche di una singola istanza, di essere interrogato all'interno dei *software* di modellazione BIM, di estrarre abachi di elementi arricchiti con le informazioni ad essi collegate, di connettere tra loro più modelli legati a diversi ambiti (per esempio, per uno stesso edificio, il modello architettonico, il modello strutturale ed il modello impiantistico), di connettere il modello con *file* e cartelle esterni per aumentarne le possibilità informative, di permettere scambi ed

interazioni anche in tempo reale tra più soggetti operanti in diversi ambiti. Quest'ultima possibilità, definita "interoperabilità", ha notevole importanza nella gestione dei flussi di lavoro poiché permette di ottimizzare l'utilizzo di tempo e risorse.

L'interoperabilità all'interno dei processi BIM/ HBIM ha però un importante limite: non sempre tutti gli utenti che sarebbe bene coinvolgere direttamente in tali processi hanno una reale possibilità di coinvolgimento diretto, in particolare quando si tratta di utenti privi di competenze pratiche di modellazione informata. Per tale tipologia di utenti risulta infatti difficoltoso utilizzare i *software* specifici per la modellazione BIM per ottenere da essi le informazioni utili ai loro interessi specifici e per aggiungerne essi stessi di nuove. Le possibili agevolazioni che la modellazione informata produce per questo tipo di utenti sono quindi un potenziale che resta per la maggior parte inespresso.

Questi ostacoli di consultazione, modifica e arricchimento delle informazioni raccolte nei modelli informati possono essere superati, rendendone agevole la fruizione anche agli utenti non appartenenti all'ambito BIM, attraverso lo sviluppo di modelli informati interattivi ed applicativi ad essi collegati che, attraverso tecniche di *gamification* ed il supporto delle *Information and Communication Technologies* (ICT) e dell'*Internet of Things* (IoT), siano di utilizzo intuitivo per la su citata categoria di fruitori, rendendo effettivamente possibile una loro fruizione "attiva" che permetta di interagire con il modello informato ed apportarvi modifiche [Empler, Caldarone, 2020].

In particolare, l'integrazione tra modello BIM/ HBIM e le ICT permette di realizzare un modello informato interattivo che, tramite *input* fisici dell'utente, produce modifiche nel modello digitale. Si tratta però di una interazione monodirezionale dalla realtà fisica (l'*input* fisico dell'utente) alla realtà digitale (l'*output* prodotto nel modello digitale).

Per far sì che questa interazione diventi bidirezionale, è possibile integrare il modello BIM/ HBIM, oltre che con le ICT, con l'IoT, ottenendo applicativi *phygital* che permettano scambi interattivi di informazioni tra realtà fisica e realtà digitale in entrambe le direzioni, in un ciclo potenzialmente infinito di interazioni. È possibile per esempio, con un gesto di una mano rilevato da un sensore di movimento, produrre una modifica in un modello digitale, e questa modifica all'interno del modello digitale può a sua volta produrre una modifica ad un modello fisico connesso a quel modello digitale, fornendo all'utente specifiche informazioni o permettendo di aggiungerne di nuove.

L'IoT permette quindi di restituire alla modellazione parte di quella fisicità che lo sviluppo delle tecnologie prettamente digitali rischiava di relegare al passato o ad un'opposizione al digitale, e ciò avviene creando non una nuova contrapposizione tra

realtà fisica e realtà digitale, ma una loro integrazione che permette di sfruttare al meglio le caratteristiche di questi due mondi all'interno di una realtà comune costituita dal loro dialogo.

La modellazione informata interattiva, sia nella sua accezione monodirezionale che nella sua accezione bidirezionale, può essere un valido strumento sia per la gestione che per la valorizzazione di edifici di interesse culturale e delle opere in essi contenute. Risulta quindi interessante poterne sperimentare l'utilizzo per la gestione e valorizzazione di un museo avente sede in un edificio storico di interesse culturale.

Il caso studio scelto per questa ricerca è il Museo Archeologico Nazionale di Napoli, noto anche con l'acronimo MANN (Fig. 1).

Il Museo Archeologico Nazionale di Napoli ha sede in un edificio di origine tardo cinquecentesca realizzato in muratura portante di tufo e sito al centro di Napoli. Originariamente nato come cavallerizza, nel corso dei secoli ha avuto diverse funzioni a cui si sono legate le sue continue trasformazioni fisiche, tuttora in corso. Nel XVII secolo è diventato Palazzo degli Studi, e dal XVIII secolo ha la funzione di Museo.

Allo stato attuale, l'edificio è costituito da un corpo centrale pieno e due ali laterali a corte realizzate in diverse epoche, e si sviluppa su tre livelli principali fuori terra, intervallati da piani ammezzati, e due livelli interrati/seminterrati. A questo edificio principale si aggiungono due corpi di fabbrica di origine più recente: la cosiddetta Palazzina Demaniale e



Fig. 1: Atrio del Museo Archeologico Nazionale di Napoli.

il cosiddetto Braccio Nuovo. Tra il volume dell'edificio principale del Museo ed il Braccio Nuovo vi è il giardino della Vanella, aperto al pubblico, ed il Cortile di Santa Teresa, collegato all'ingresso secondario del Museo.

All'interno del Museo si svolgono diverse funzioni. La principale è la funzione espositiva legata alla fruizione museale delle diverse collezioni contenute nel Museo, con le annesse funzioni di biglietteria, *bookshop* e caffetteria. Altre funzioni dedicate al pubblico sono legate alla presenza di un *Auditorium*, del servizio Educativo e, prossimamente, all'apertura di un ristorante all'interno del Braccio Nuovo. Le

funzioni legate alla gestione del Museo, dei suoi spazi fisici e delle opere in esso conservate ed esposte sono svolte negli uffici, nei laboratori di restauro, nei depositi, e negli spazi adibiti al servizio di vigilanza.

Le diverse attività, sia amministrative che tecniche e pratiche, che vengono svolte quotidianamente nel Museo da diverse tipologie di operatori, unitamente alla enorme mole di dati legata sia al Museo come contenitore che al suo contenuto di opere di valore storico-artistico e di impianti, rendono importante la realizzazione di modelli informati, connessi tra loro, che ne agevolino le

operazioni di gestione e di valorizzazione, e che siano agevolmente fruibili dai diversi tipi di operatori.

Il *workflow* per la realizzazione di questi modelli parte dall'analisi delle esigenze dei diversi operatori del Museo e dall'analisi delle difficoltà gestionali attuali. In particolare, una prima criticità è legata alla mancanza di un ambiente effettivamente condiviso di gestione e consultazione dei dati ed alla conseguente difficoltà di collaborazione digitale tra le diverse tipologie di operatori. Ciò rende difficoltoso recuperare i dati necessari per le diverse lavorazioni e per la preparazione delle diverse pratiche amministrative necessarie alle attività del Museo, poiché spesso i vari dati sono elaborati e custoditi da diversi

operatori senza confluire in un ambiente condiviso, o confluendo in esso in un modo che rende complessa la loro fruizione da parte di altri utenti (Fig. 2).

La prima fase di lavoro sarà quindi legata alla scelta ed alla raccolta dei dati che andranno ad informare il modello informato interattivo della parte di museo su cui si concentrerà la sperimentazione (Fig. 3).

Il principale obiettivo che ci si prefigge di raggiungere è far sì che tutti gli operatori del museo, indipendentemente dalle loro competenze in ambito di modellazione, possano agevolmente accedere ai dati di loro interesse, modificarli e/o aggiungerne di nuovi, sia per scopi di gestione che di valorizzazione del museo e delle opere in esso contenute.

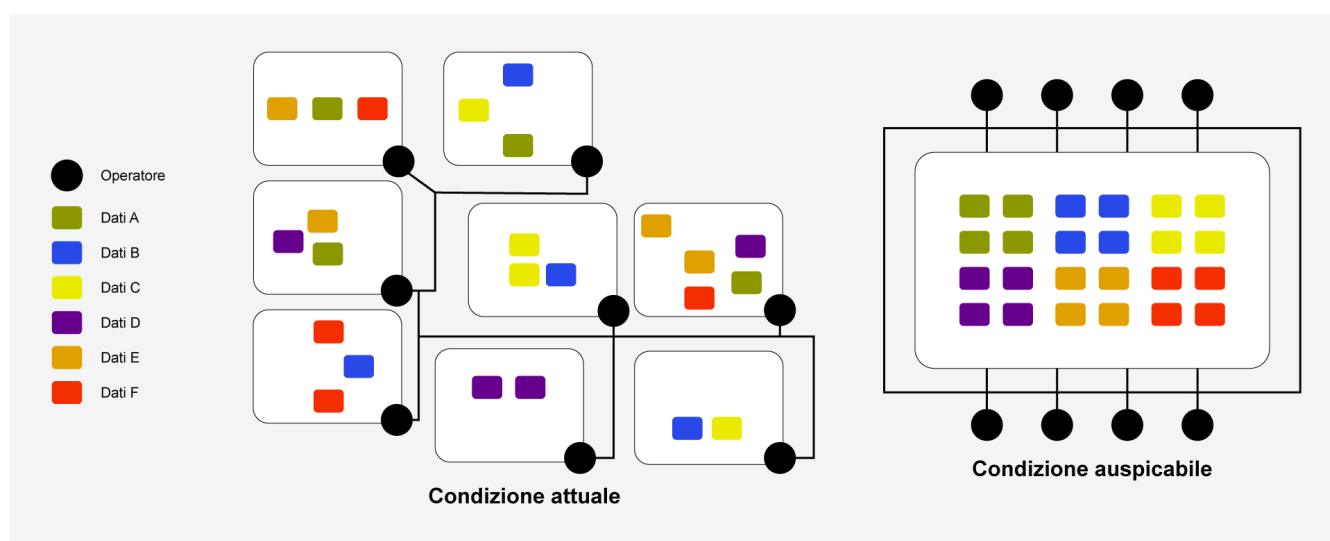


Fig. 2: Confronto tra difficoltà di gestione informativa e condizione auspicabile.

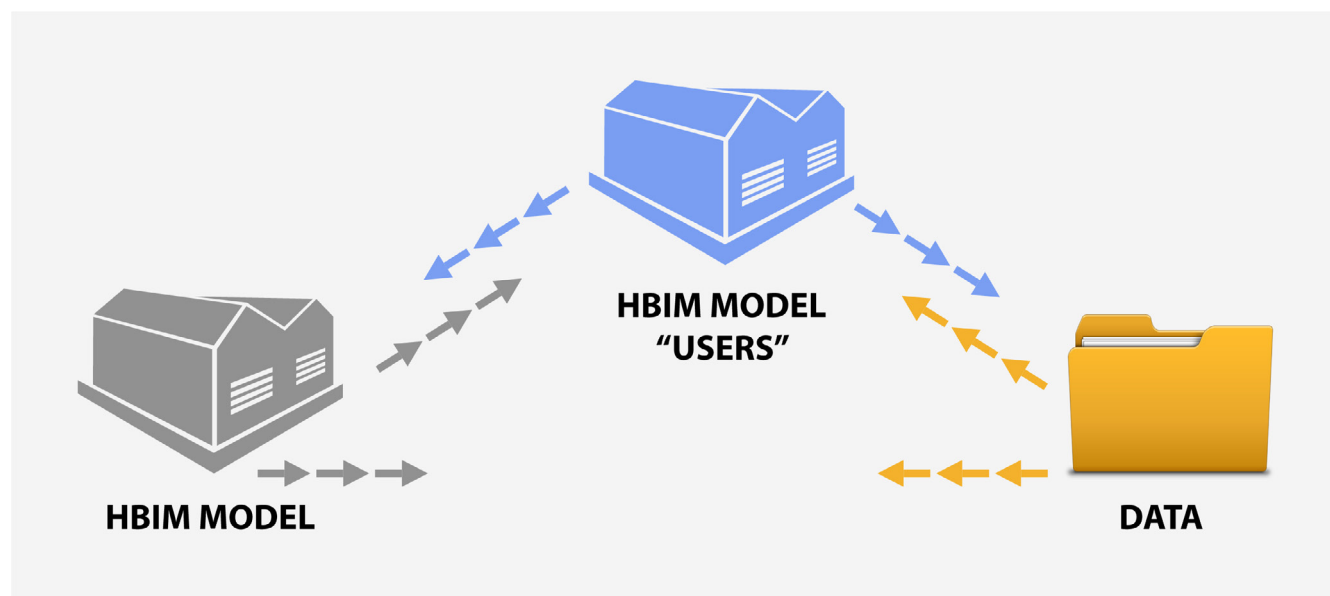


Fig. 3: Relazione tra dati, modello HBIM e modello informato interattivo.

Bibliografia

buildingSMART Alliance. (2007). Part 1: Overview, principles, and methodologies. In D. Harris (Ed.), *National building information modelling standard*. National Institute of Building Sciences.

Empler, T. (2016). Modello conoscitivo infografico della Galleria Prospettica di Palazzo Spada: Costruzione di un sistema di divulgazione in real time 3D. In G. M. Valenti (Ed.), *Prospettive architettoniche II. Conservazione digitale, divulgazione e studio, tomo II* (pp. 519–539). Roma: Sapienza Università Editrice.

Empler, T., & Caldarone, A. (2020). Rappresentazione multimediale e interattiva per i ponti romani. In C. Inglese & L. Paris (Eds.), *Arte e tecnica dei ponti romani in pietra* (pp. 59–76). Roma: Sapienza Università Editrice.

Pocobelli, D. P., Boehm, J., Bryan, P., Still, J., & Grau-Bove, J. (2018). BIM for heritage science: A review. *Heritage Science*, 6, 30.

Yang, X., Grussenmeyer, P., Koehl, M., Macher, H., Murtiyoso, A., & Landes, T. (2020). Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques. *Journal of Cultural Heritage*, 46, 350–360.

INTEROPERABILITÀ SEMANTICA E GOVERNANCE DIGITALE: IL PARADIGMA INFORMATIVO DEL BIM CONTEMPORANEO

Semantic Interoperability and Digital Governance:
The Informational Paradigm of Contemporary BIM

Authors

Michela Meschini¹, Matilde Cozzali¹, Chiara Mommi¹, Laura Suvieri²

¹ Università degli Studi di Perugia

² Università degli Studi di Catania

Email

michela.meschini@unipg.it

matilde.cozzali@dottorandi.unipg.it

chiara.mommi@dottorandi.unipg.it

laura.suvieri@phd.unict.it

Keywords

BUILDING INFORMATION MODELING
SEMANTIC INTEROPERABILITY
DIGITAL GOVERNANCE
LEVEL OF INFORMATION NEED
IFC FORMAT

Abstract

Nel contesto del *Building Information Modeling* (BIM), l'interoperabilità costituisce un presupposto essenziale per la gestione integrata e multilivello delle informazioni. Un'analisi scientometrica condotta su un *corpus* selezionato ha individuato cinque *cluster* tematici che tracciano le principali traiettorie della ricerca, evidenziando l'emergere dell'interoperabilità semantica, potenziata da LOIN e dall'evoluzione del formato IFC.

In the context of Building Information Modeling (BIM), interoperability represents an essential prerequisite for the integrated and multi-level management of information. A scientometric analysis conducted on a selected corpus identified five thematic clusters outlining the main research trajectories, highlighting the emergence of semantic interoperability, enhanced by LOIN and by the evolution of the IFC format.

Nel paradigma del *Building Information Modeling* (BIM), l'interoperabilità si configura come un elemento abilitante fondamentale, in grado di garantire la coerenza e la continuità informativa tra soggetti e piattaforme eterogenee, lungo tutte le fasi del ciclo di vita edilizio. In un contesto caratterizzato da un crescente livello di complessità progettuale, l'interoperabilità non è vista soltanto come una necessità tecnica, ma come una condizione abilitante per la piena attuazione della digitalizzazione nel settore delle costruzioni [Eastman et al., 2011; buildingSMART International, 2020]. Essa si declina, secondo una visione articolata, in due componenti distinte ma interrelate: quella sintattica, che concerne la compatibilità tra diversi formati di file, e quella semantica, che riguarda invece la coerenza e la conservazione del significato delle informazioni scambiate tra sistemi differenti. Sebbene gli *standard* openBIM, e in particolare il formato IFC (*Industry Foundation Classes*), abbiano rappresentato un passo fondamentale verso una interoperabilità effettiva, le criticità riscontrabili nei flussi di lavoro reali dimostrano come l'obiettivo di una piena interoperabilità semantica rimanga ancora largamente da conseguire.

Per verificare se i fondamenti teorici individuati trovino effettivo riscontro nel dibattito scientifico contemporaneo, è stata svolta un'analisi scientometrica su un *corpus* selezionato di pubblicazioni accademiche internazionali. Attraverso tecniche di estrazione automatica dei temi ricorrenti, applicate a una raccolta di articoli pubblicati nell'ultimo decennio, è stato possibile identificare cinque principali ambiti di ricerca attualmente esplorati dalla comunità scientifica.

Questi *cluster* tematici delineano non solo le traiettorie evolutive del concetto di interoperabilità nel contesto digitale, ma anche i nodi concettuali più ricorrenti e gli ambiti applicativi prevalenti. La mappa emersa offre così una lettura sintetica ma strutturata della produzione scientifica recente, nella quale ogni nucleo tematico riflette un differente orientamento teorico e contribuisce a definire la complessità del dibattito sulla digitalizzazione dell'ambiente costruito.

Il primo e più densamente popolato *cluster*, denominato *Gestione Digitale*, (Fig. 1a), rappresenta l'espressione di una transizione ormai consolidata del BIM: da semplice strumento di rappresentazione geometrica a piattaforma integrata per il governo informativo dell'ambiente costruito. A quest'area afferisce il 43,6% dei contributi analizzati, i quali tematizzano, attraverso lessici dominati da termini quali *management*, *digital*, *industry* e *model*, l'adozione di metodologie digitali nei processi di costruzione, manutenzione e gestione del ciclo di vita dell'opera. I risultati evidenziano un crescente interesse verso l'integrazione tra ambienti BIM e tecnologie riconducibili all'ecosistema 4.0, delineando una visione

sistemica e interconnessa della produzione edilizia. In continuità con tale visione, ma focalizzato su ambiti di maggiore specializzazione tecnica, il secondo *cluster* *Interoperabilità e Simulazione* (Fig. 1b), riunisce il 23,1% del *dataset*, concentrandosi sull'integrazione operativa tra modelli informativi e strumenti per l'analisi prestazionale. Tematiche quali la simulazione energetica, l'ottimizzazione dei flussi e l'efficienza ambientale emergono come campi di applicazione privilegiati. La ricorrenza di termini come *tools*, *analysis*, *interoperability* e *simulation* segnala l'affermarsi di una cultura progettuale in cui la modellazione informativa assume un ruolo strategico, quale prerequisito per la valutazione predittiva e il controllo intelligente del comportamento del manufatto edilizio. Il terzo ambito tematico, *IFC e Semantica*, (Fig. 1c), raccoglie il 16,4% dei contributi e si sviluppa all'interno del paradigma *openBIM*, ponendo l'accento sulle criticità strutturali del formato IFC e sulla necessità di potenziarne le capacità espressive. Le frequenti occorrenze di termini come *semantic*, *method*, *data* e *IFC* testimoniano una produzione scientifica volta alla definizione di standard più solidi, ontologicamente fondati e orientati a garantire un'interoperabilità semantica effettiva, superando la dicotomia ancora persistente tra compatibilità sintattica e coerenza informativa. Di minore consistenza quantitativa ma di elevata rilevanza culturale risulta il *cluster* relativo al *BIM per il Patrimonio* (Fig. 1d), che comprende il 9,6% delle pubblicazioni analizzate. In quest'area, la modellazione informativa viene declinata come strumento di conoscenza, tutela e valorizzazione del costruito storico. L'associazione ricorrente tra termini quali *heritage*, *point cloud*, *data* e *modelling* evidenzia l'affermazione di una linea di ricerca che integra tecnologie di rilievo avanzato con logiche di interoperabilità informativa, aprendo a nuove sinergie tra conservazione, documentazione e gestione digitale. Conclude il *cluster* più contenuto, *Progettazione e Costo* (Fig. 1e), che, con il 7,4% dei contributi, intercetta una parte significativa della letteratura orientata al supporto decisionale nelle fasi preliminari del progetto. L'attenzione si concentra sull'intersezione tra modellazione informativa, stima dei costi e simulazione prestazionale, come suggerito da un vocabolario che include termini quali *framework*, *design*, *energy* e *construction*. Tale orientamento riflette un interesse crescente per l'impiego del BIM come matrice relazionale e strumento analitico per la comparazione tra scenari progettuali alternativi.

Nel loro insieme, questi *cluster* non delineano ambiti separati, bensì correlazioni semantiche interconnesse (Fig. 2) che riflettono l'evoluzione della cultura progettuale digitale verso forme sempre più avanzate di rappresentazione informativa, tracciabilità semantica e governo dei processi. In tale quadro, l'interoperabilità si configura non più come

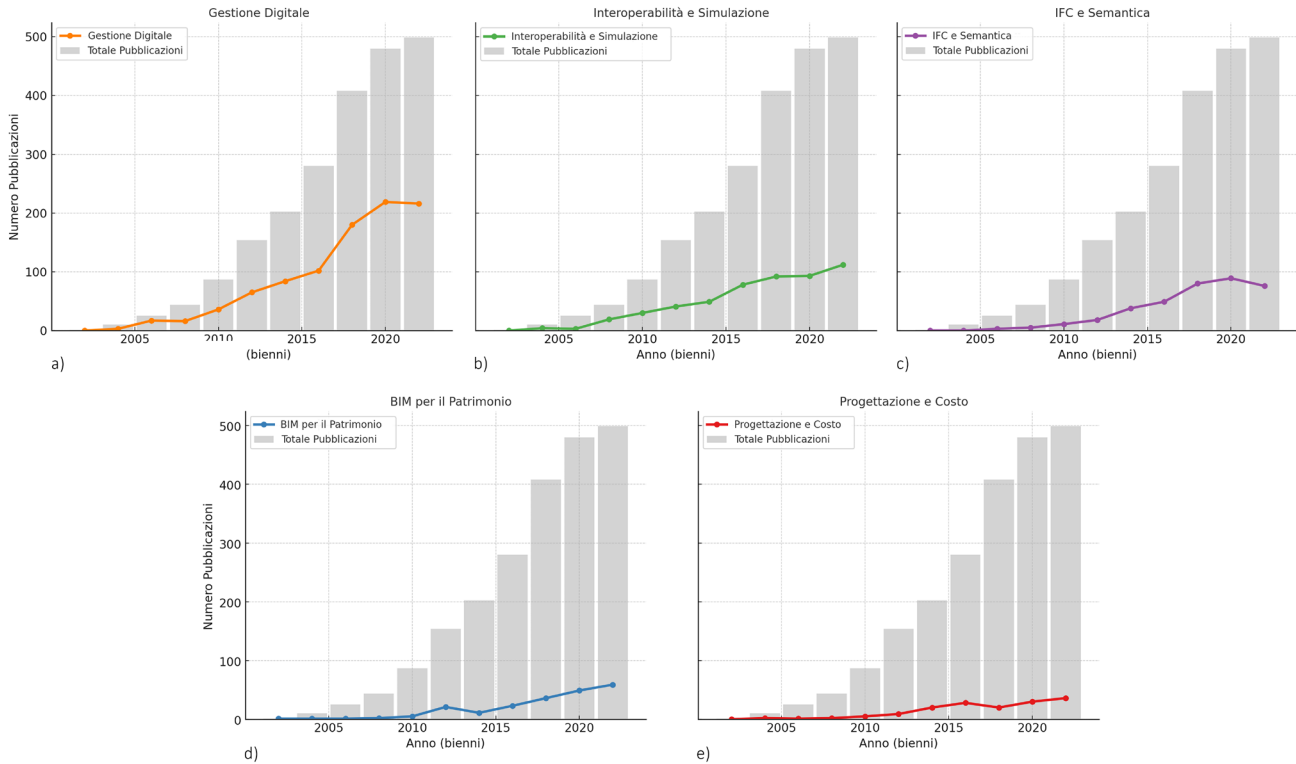


Fig. 1: Distribuzione dei cluster tematici in relazione al totale delle pubblicazioni

semplice nodo tecnico, ma come dispositivo strategico in grado di connettere domini specialistici, fasi diverse del ciclo di vita e prospettive plurali sull'ambiente costruito.

L'analisi scientometrica condotta ha restituito un panorama articolato della ricerca internazionale sull'interoperabilità in ambiente BIM, evidenziando come i *cluster* tematici individuati rappresentino l'evoluzione di un approccio inizialmente centrato sulla rappresentazione geometrica verso una visione sistemica della modellazione informativa, intesa come strumento di governo del progetto e del costruito. In questo scenario, l'interoperabilità emerge non più come una questione meramente tecnica, ma come un principio trasversale in grado di connettere domini specialistici, fasi del ciclo di vita e prospettive operative differenti. Tuttavia, tale visione si confronta con la concreta operatività degli strumenti di standardizzazione attualmente adottati, che mostrano ancora limiti nel rispondere alla crescente complessità e variabilità delle informazioni richieste.

Diventa pertanto necessario approfondire criticamente le principali architetture di riferimento per la gestione dell'informazione digitale, in particolare i principali strumenti di standardizzazione e modellazione informativa, al fine di valutarne l'efficacia nel garantire un'interoperabilità realmente funzionale e contestualizzata. L'analisi di questi dispositivi permette di cogliere tanto le rigidità ancora presenti

quanto le prospettive evolutive in atto, delineando un possibile passaggio verso modelli informativi più adattivi, granulari e capaci di rispondere alle esigenze specifiche dei diversi attori coinvolti nella progettazione e nella gestione dell'ambiente costruito.

Nel tentativo di gestire l'evoluzione della complessità informativa, il settore ha elaborato nel corso del tempo strumenti di standardizzazione come i Livelli di Dettaglio o di Sviluppo (LOD), introdotti per descrivere il grado di maturità geometrica e informativa degli elementi del modello BIM in relazione alle differenti fasi progettuali (BIMForum, 2021). Il *framework* LOD, pur avendo rappresentato una prima importante formalizzazione delle aspettative sui contenuti dei modelli digitali, ha progressivamente mostrato limiti significativi: la tendenza a privilegiare l'aspetto geometrico rispetto a quello informativo [Succar, 2009], l'ambiguità nell'interpretazione dei livelli tra le diverse figure professionali [Volk, Stengel, Schultmann, 2014] e l'inadeguatezza nel rispondere alla crescente esigenza di flessibilità e contestualizzazione delle informazioni richieste. In particolare, il LOD si è rivelato insufficiente nel descrivere in maniera dinamica e adattiva il bisogno informativo specifico che emerge nei diversi momenti del ciclo di vita dell'opera, generando sovraccarichi documentali e disallineamenti tra le informazioni disponibili e quelle effettivamente necessarie.

La presa d'atto delle criticità associate al LOD ha condotto, nel quadro normativo internazionale,

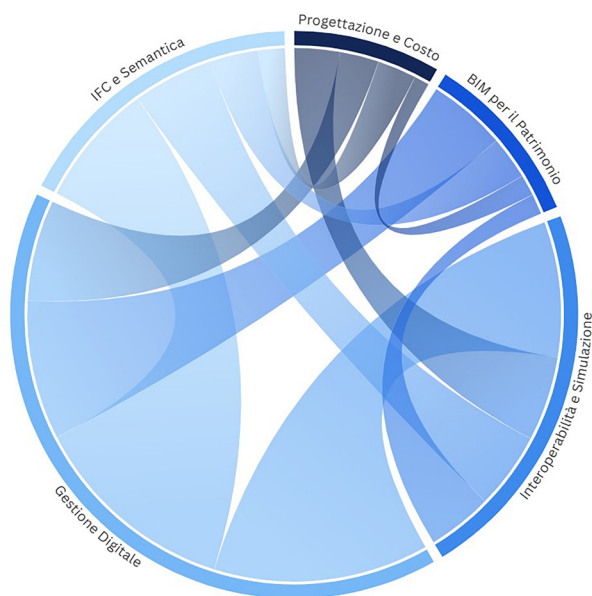


Fig. 2: Graficizzazione delle correlazioni tra i diversi cluster tematici

all'elaborazione di un concetto più evoluto: il *Level of Information Need* (LOIN), formalizzato nella serie ISO 19650 e nella norma EN 17412-1:2020. Il LOIN si propone di superare la logica rigidamente progressiva dei livelli di dettaglio, introducendo un paradigma basato sulla definizione precisa delle informazioni necessarie per uno scopo specifico, tenendo conto del contenuto, della granularità, della qualità e del momento di consegna dell'informazione stessa (ISO 19650-2:2018; EN 17412-1:2020). In tal modo, la gestione dell'informazione non viene più impostata secondo un criterio generalizzato e omnicomprensivo, bensì orientata in funzione delle esigenze contestuali, riducendo l'accumulo di dati superflui e incrementando l'efficienza dei flussi informativi lungo tutto il ciclo di vita dell'opera [Kassem & Succar, 2017]. L'introduzione del LOIN segna, dunque, una trasformazione culturale nella gestione dell'informazione in ambiente BIM, spostando l'attenzione dalla modellazione come mera rappresentazione tridimensionale alla modellazione come strumento di governance intelligente dei dati.

In questo scenario, il formato IFC si configura come infrastruttura portante ma, al contempo, anche come fonte di criticità operative. Pur costituendo lo standard di riferimento per l'interoperabilità nei processi *openBIM*, l'IFC presenta ancora significative problematiche legate alla perdita di informazioni, alla scarsa precisione nella trasposizione semantica degli oggetti e alla frammentazione delle implementazioni software [Venugopal et al., 2016; buildingSMART International, 2020] (Fig. 3).

Tra le principali evoluzioni in atto, lo sviluppo del formato IFC5 rappresenta un passaggio strategico nel rafforzamento dell'interoperabilità semantica in

ambiente *openBIM*. Rispetto alle versioni precedenti, IFC5 si configura non come un semplice aggiornamento tecnico, ma come una revisione strutturale orientata all'estensione delle capacità espressive del modello informativo [Boje et al., 2020]. La nuova architettura modulare consente una maggiore flessibilità nella gestione dei domini applicativi, favorendo l'integrazione di ambiti finora marginali, come le infrastrutture lineari, le reti tecnologiche e gli ambienti urbani intelligenti, e ampliando significativamente lo spettro semantico del formato. Particolare rilievo assume la compatibilità con standard ontologici e dizionari concettuali, che abilita una corrispondenza più solida tra modelli eterogenei e l'automazione dei processi di lettura e validazione dell'informazione. Inoltre, l'integrazione di meccanismi per la gestione temporale e del ciclo di vita degli oggetti digitali rende l'IFC5 idoneo a supportare scenari dinamici e adattivi, ponendolo come infrastruttura tecnica di riferimento per una interoperabilità realmente efficace, orientata alla sostenibilità e alla resilienza dell'ambiente costruito.

In linea con questa evoluzione, la ricerca scientifica sta contribuendo al rafforzamento dell'interoperabilità semantica muovendosi lungo direttrici convergenti, indirizzate da un lato verso l'automazione dei processi di verifica informativa, attraverso sistemi avanzati di *data checking* e *data validation* [Beetz et al., 2010], e dall'altro all'applicazione delle tecnologie semantiche per la costruzione di ontologie di dominio che consentano una interoperabilità concettuale più solida [Pauwels et al., 2017]. In questo contesto, l'integrazione dei modelli BIM con approcci di *Linked Data* e con strumenti di intelligenza artificiale emerge come una delle linee di ricerca più promettenti, prefigurando scenari in cui la gestione dell'informazione sarà sempre più basata su sistemi intelligenti in grado di adattarsi dinamicamente alle esigenze dei diversi attori e dei diversi momenti progettuali.

Attraverso l'analisi condotta, supportata da strumenti di analisi scientometrica, emerge con chiarezza come la ricerca stia progressivamente superando l'approccio descrittivo e tecnico per abbracciare una visione sistemica dell'interoperabilità semantica. Le prospettive future delineano un quadro in cui l'interoperabilità non si limiterà alla dimensione tecnica dello scambio dati, ma assumerà un ruolo strategico nella costruzione di ecosistemi digitali aperti, resilienti e orientati alla sostenibilità. L'evoluzione del concetto di interoperabilità, in sinergia con la piena adozione del paradigma LOIN, prefigura un futuro in cui la gestione dell'informazione sarà integrata ai modelli di governance urbana, ai *Digital Twin* e agli ambienti intelligenti, ridefinendo le modalità stesse di progettazione, costruzione e gestione dell'ambiente costruito. In tale scenario, l'informazione diventa il principale vettore di valore,

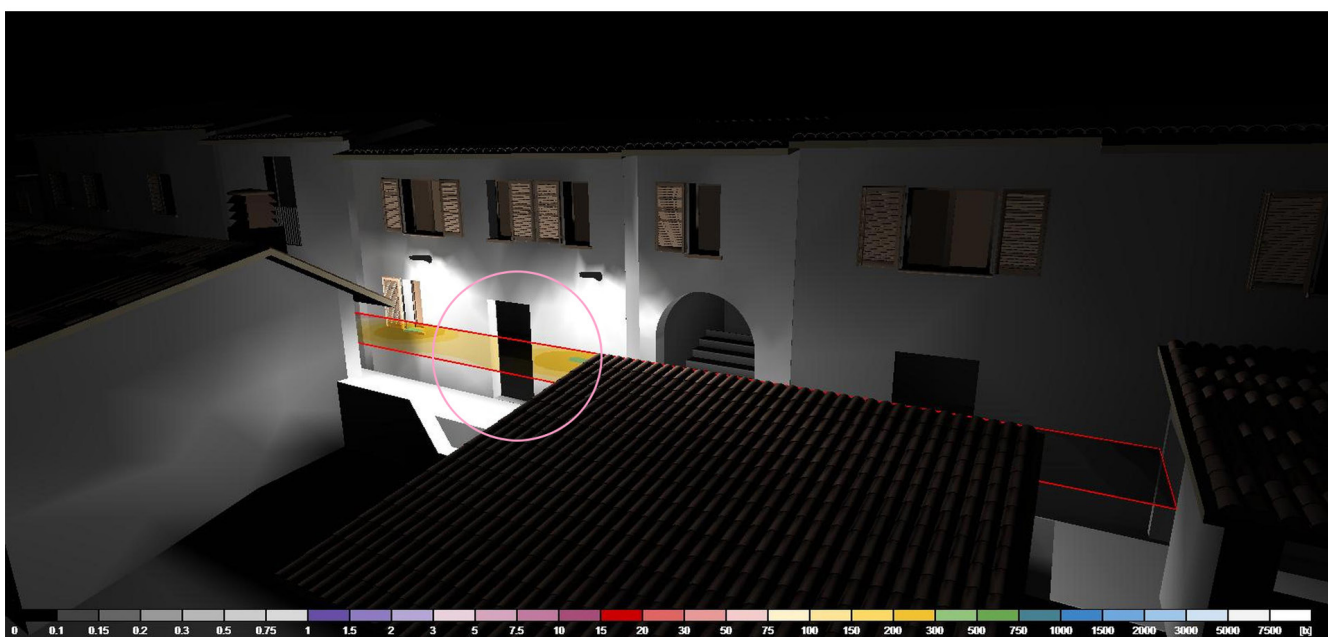
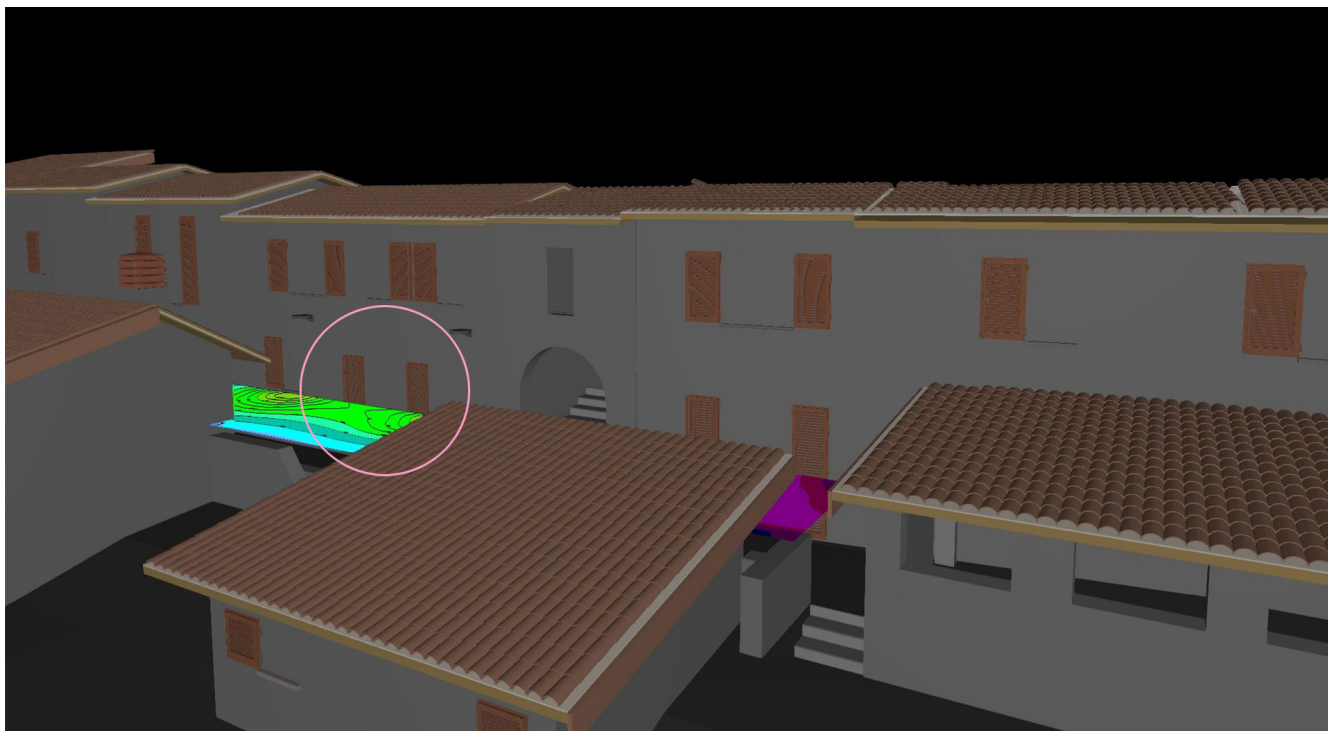


Fig. 3: La figura mostra la diversa lettura del modello geometrico in ambiente BIM. Nel file IFC esportato da Autodesk Revit (in alto), un'apertura nel prospetto risulta impropriamente interpretata e classificata come finestra, evidenziando una discrepanza nel processo di traduzione informativa.

non solo per la sua capacità descrittiva, ma per il suo potenziale trasformativo: essa abilita processi decisionali più consapevoli, consente un controllo predittivo dei fenomeni fisici e sociali e supporta la progettazione di politiche integrate per la rigenerazione urbana, l'adattamento climatico e la gestione sostenibile delle risorse. Il passaggio da una logica documentale a una logica informazionale implica, tuttavia, una profonda riorganizzazione dei modelli operativi, delle competenze professionali e dei sistemi di responsabilità. Solo attraverso un

investimento sistemico nella formazione, nella standardizzazione e nell'innovazione tecnologica sarà possibile realizzare una piena maturità digitale del settore delle costruzioni.

L'interoperabilità rappresenta non soltanto una sfida tecnica, ma una vera e propria leva culturale e strategica per la trasformazione del settore AEC. Il suo sviluppo futuro dipenderà dalla capacità degli attori coinvolti, istituzioni, imprese, università e professionisti, di cooperare in maniera sinergica, promuovendo una visione integrata e condivisa del

dato come bene comune. In questa prospettiva, la ricerca scientifica è chiamata a svolgere un ruolo cruciale, non solo nella sperimentazione di soluzioni innovative, ma anche nella definizione di nuovi paradigmi epistemologici e metodologici in grado di sostenere l'evoluzione verso un ambiente costruito realmente intelligente, inclusivo e sostenibile.

Bibliografia

Beetz, J., van Leeuwen, J. P., & de Vries, B. (2010). IfcOWL: A case of transforming EXPRESS schemas into ontologies. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 24(4), 443–462.

BIMForum. (2021). *Level of Development Specification*. Retrieved from <https://bimforum.org/lod/>

Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic construction digital twin: Directions for future research. *Automation in Construction*, 114, 103179.

buildingSMART International. (2020). *What is openBIM?* Retrieved from <https://www.buildingsmart.org/>

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Wiley.

EN 17412-1:2020. *Building Information Modelling - Level of Information Need - Part 1: Concepts and principles*.

ISO 19650-1:2018. *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles*.

ISO 19650-2:2018. *Information management using building information modelling - Part 2: Delivery phase of the assets*.

Kassem, M., & Succar, B. (2017). Macro-BIM adoption: Comparative market analysis. *Automation in Construction*, 81, 286–299.

Pauwels, P., Zhang, S., & Lee, Y.-C. (2017). Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview. *Automation in Construction*, 73, 145–165.

Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for

industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375.

Venugopal, M., Eastman, C. M., Sacks, R., & Teizer, J. (2016). Semantics of model views for information exchanges using the Industry Foundation Class schema. *Advanced Engineering Informatics*, 30(2), 256–274.

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. *Automation in Construction*, 38, 109–127.

GLI HORTI LAMIANI: MODELLAZIONE 3D PER LO SVILUPPO DI MODELLI PER LA COMUNICAZIONE E L'ACCESSIBILITÀ

Horti Lamiani: 3D Modeling for the Development of
Models for Communication and Accessibility

Authors

Pasquale Micelli

Sapienza Università di Roma – Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

Email

pasquale.micelli@uniroma1.it

Keywords

3D MODELING
ICT
3D PRINTING
CULTURAL HERITAGE
ACCESSIBILITY

Abstract

Il contributo affronta la ricostruzione storica degli *Horti Lamiani* in età imperiale tramite modellazione 3D. L'obiettivo è creare un modello multimediale e accessibile, incrociando le fonti iconografiche per definire morfologia e strutture. La metodologia prevede la realizzazione di un plastico fisico stampato in 3D con superfici semplificate, colori a contrasto e didascalie in Braille. Tale approccio è orientato a far diventare l'ipotesi di ricostruzione storica uno strumento di divulgazione accessibile, superando le barriere comunicative per il pubblico con disabilità visive.

The paper addresses the historical reconstruction of the *Horti Lamiani* during the Roman Imperial age through 3D modeling. The objective is to create a multimedia and accessible model by cross-referencing iconographic sources to define the morphology and structures. The methodology involves the creation of a physical 3D printed model featuring simplified surfaces, contrasting colors, and Braille captions. This approach is oriented towards transforming the historical reconstruction hypothesis into an accessible dissemination tool, overcoming communication barriers for visually impaired audiences.

Introduzione

Questo contributo affronta il tema della rappresentazione della ricostruzione storica dell'area degli *Horti Lamiani* durante l'età imperiale romana tramite l'ausilio della modellazione tridimensionale per lo sviluppo di un modello spendibile sul fronte della divulgazione accessibile per disabili visivi.

La questione della rappresentazione per la disabilità visiva costituisce un campo di ricerca importante nel settore del disegno [Empler 2013; Empler, Fusinetti 2019; Empler, Fusinetti 2020]. La lettura e la memorizzazione delle figure da parte degli esploratori tattili differiscono significativamente dalla percezione visiva. L'esplorazione aptica non consente una percezione d'insieme, ma è intrinsecamente sequenziale, realizzata tramite il movimento e lo spostamento delle mani. Il processo esplorativo manuale è non lineare e varia in funzione dell'immagine, della sua complessità, dell'esperienza individuale e del tempo disponibile [Levi, Rolli 1996]. A differenza della vista, che risolve dettagli minimi e linee sottili ravvicinate, la percezione tattile presenta un limite di risoluzione minimo, determinato dalle dimensioni dell'unità sensibile (i polpastrelli). Questa soglia minima di percepibilità rende imperativa la definizione di specifiche norme rappresentative per garantire il corretto riconoscimento degli elementi raffigurati in rilievo o in 3D.

L'abilità di interpretare i fenomeni legati alla rappresentazione visiva, inoltre, dipende in modo cruciale dal momento in cui si è manifestata la disabilità. I soggetti con cecità acquisita in età tardiva sono in grado di conservare la memoria visiva e, di conseguenza, mantengono la capacità di interpretare elementi come le deformazioni prospettiche. Al contrario, gli individui con cecità congenita, non avendo mai sviluppato un'esperienza visiva, non possiedono una memoria sensoriale pertinente. Questo implica una significativa difficoltà nella decodifica di linguaggi complessi quali la prospettiva, che risulta perciò inadeguata per le comunicazioni dirette a loro, come nel caso delle rappresentazioni su pannelli visuo-tattili [Empler, Fusinetti 2019]. Infine, la percezione degli ipovedenti è altamente eterogenea: a seconda della specifica eziologia, possono percepire indizi spaziali come la profondità o lo scaglionamento (orizzontale/verticale), sebbene questa capacità sia notevolmente variabile e sensibile a fattori estrinseci, quali l'ora del giorno e le condizioni di illuminazione ambientale. [Empler, Caldarone, Fusinetti 2022]

Gli Horti Lamiani: inquadramento storico

Il flusso operativo per l'ipotesi di ricostruzione ha inizio con una fase di ricerca storica e, per quanto possibile, iconografica dell'area. Gli *Horti Lamiani*, localizzati sulla collina dell'Esquilino, a est dell'antica

Via Merulana (oggi Vicolo di S. Matteo), in contiguità con gli *Horti Maecenatis*, rappresentano un esempio emblematico delle residenze aristocratiche di epoca imperiale, caratterizzate da un'organizzazione spaziale complessa e una forte integrazione tra architettura e paesaggio. Originariamente proprietà del console Lucio Elio Lamia, gli *horti* in oggetto furono assorbiti nel demanio imperiale sotto il principato di Tiberio e trasformati in una residenza imperiale sotto Caligola, il quale li utilizzò come dimora e vi fu temporaneamente inumato dopo la sua morte. Dal punto di vista archeologico e storico, gli *Horti Lamiani* si distinguevano per la ricercatezza delle strutture architettoniche e per la presenza di elementi decorativi tra cui rivestimenti marmorei policromi, affreschi con rappresentazioni di paesaggi e ornamenti in bronzo dorato con inclusioni di gemme preziose. Le funzioni degli *Horti Lamiani* si inserivano nel contesto della villa imperiale quale luogo di *otium*, inteso come spazio dedicato alla riflessione, al piacere estetico e alla fruizione della natura, in contrasto con gli ambienti destinati al *negotium*, ovvero alle attività politico-amministrative. Il sito ha restituito numerosi manufatti di pregio, tra cui la celebre Venere Esquilina e il ritratto di Commodo-Erocole, oggi conservati nei Musei Capitolini. Gli scavi condotti tra il XIX e il XX secolo hanno evidenziato la stratificazione di epoche successive e l'alto grado di monumentalità del complesso. Attualmente, i reperti e le strutture degli *Horti* sono parzialmente accessibili al pubblico presso il Museo Ninfeo, che conserva le testimonianze materiali di questa prestigiosa residenza. [Alagia 2014]

Le fonti iconografiche disponibili a riguardo consistono in due planimetrie archeologiche: la prima sviluppata con elaborazioni di Alagia su disegno di Brocchi del 1820 (Fig. 1), la seconda restituita da Maddalena Cima e da Eugenio La Rocca in occasione della mostra *Le tranquille dimore degli dei*, basata sulle testimonianze di Rodolfo Lanciani, sui resoconti di scavo e sui materiali conservati principalmente nei depositi comunali (Fig. 2). Un altro riferimento molto importante è il plastico ricostruttivo di Roma in età costantiniana (IV secolo d.C) in scala 1:250 realizzato dall'architetto Italo Gismondi nell'ex pastificio Pantanella a partire dalla *Forma Urbis* di Rodolfo Lanciani, mentre, l'ultimo prodotto iconografico in ordine temporale, consiste nella proposta di ricostruzione dell'area da parte dello studio Inklank della quale esiste anche una restituzione virtuale tridimensionale esposta nel materiale digitale disponibile al Museo Ninfeo (Fig. 3).

Metodologia

L'obiettivo che ci si pone nella realizzazione della ricostruzione è quello della correttezza dal punto

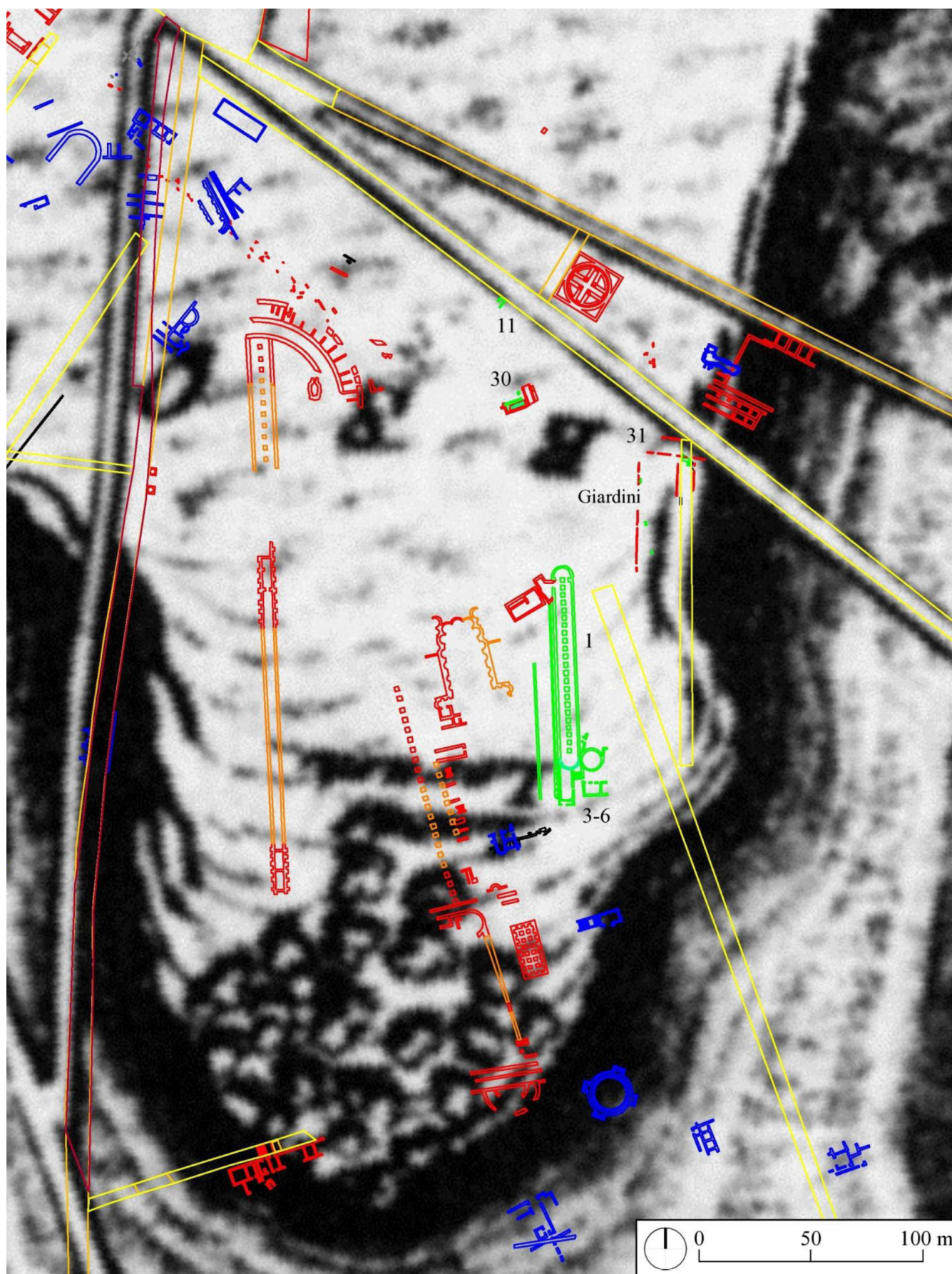


Fig. 1: Planimetria generale degli Horti Lamiani. Posizionamento delle strutture antiche sulla pianta di G. Brocchi (da Frutaz 1962, III, tav. 83, rielaborazione di Alagia).

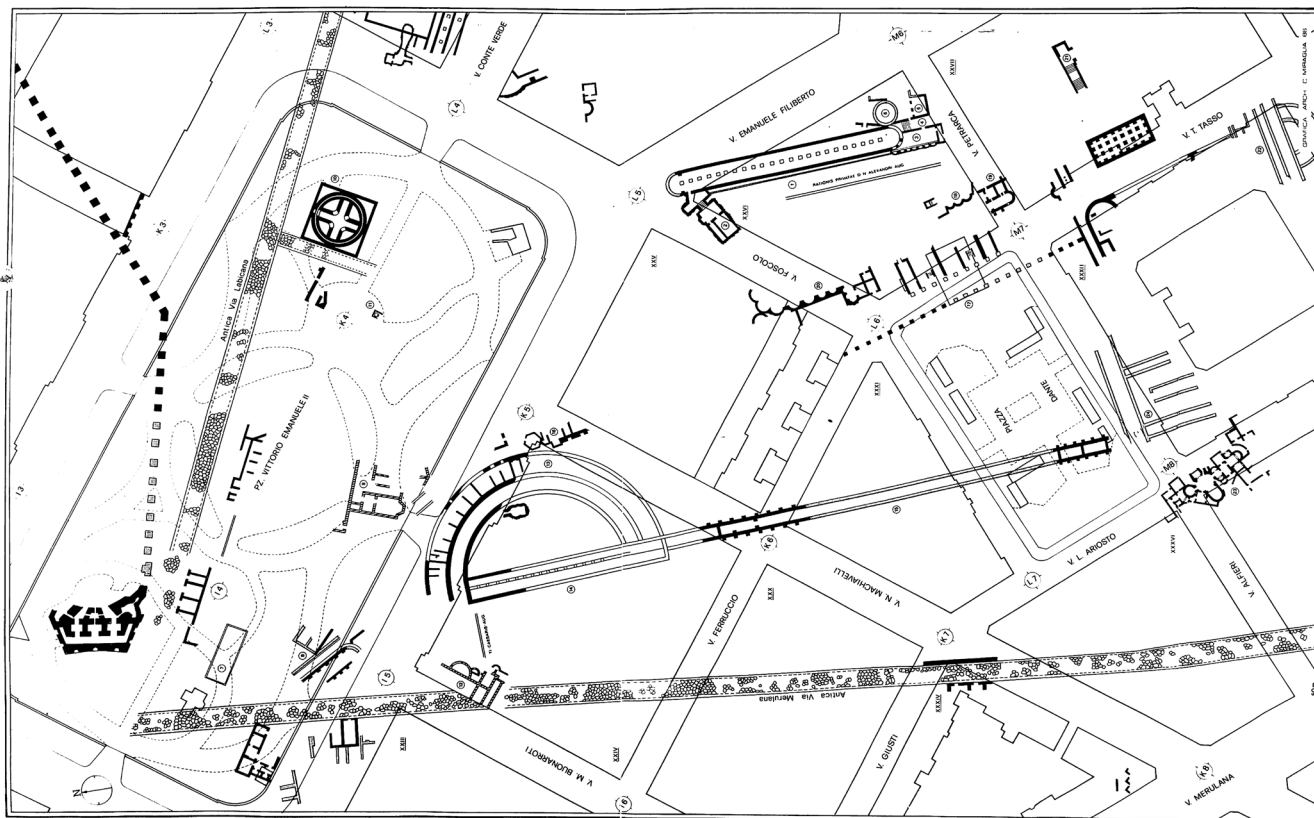


Fig. 2: La restituzione di Maddalena Cima ed Eugenio La Rocca realizzata nel 1986 (elaborazione di Cima, La Rocca).



Fig.3: Ipotesi ricostruttiva dell'area degli Horti Lamiani realizzata per il Museo Ninfeo. (elaborazione di Inklint).

di vista delle informazioni veicolate pur rimanendo all'interno dell'ambito della comunicazione e divulgazione delle informazioni e che la esulano, quindi, dalla misura esatta della sua scientificità ma la riportano sul più agevole territorio dell'ipotesi ricostruttiva realizzata in un'ottica di verosimiglianza, che va a scontrarsi anche con una serie di necessità tecniche legate alla realizzazione tangibile all'effettivo utilizzo che il modello ottenuto avrà una volta prodotto fisicamente. A tale proposito, l'intenzione è quella di procedere tramite l'incrocio delle varie informazioni derivanti dalle fonti, traendo il maggior dettaglio possibile da ognuna ed escludendo tutti gli elementi che cadono al di fuori del periodo storico di riferimento e anche quelli che presentano delle criticità dal punto di vista di plausibilità della ricostruzione.

Le caratteristiche di interesse individuate nelle fonti grafiche si articolano su tre livelli differenti che verranno stratificate per la realizzazione della rappresentazione finale:

- il primo livello è quello della morfologia del territorio oggetto di studio; questa è caratterizzata in maniera differente in tutte le fonti a disposizione, difatti Alagia e Gismondi rappresentano l'area evidenziando salti di quota che la rendono assimilabile ad un terreno collinare, la ricostruzione di Inklinsk dettaglia maggiormente l'aspetto architettonico (e quindi le modificazioni antropiche) del suolo mentre la mappa di Cima non permette di risalire ad informazioni riguardo la topografia perché riporta le evidenze archeologiche su una carta che rappresenta l'articolazione urbana moderna dell'area;
- il secondo livello di informazioni è quello che riguarda la presenza di evidenze archeologiche all'interno dell'area. Dagli scavi archeologici effettuati fin'ora e riportati sulla pianta di Cima si distinguono chiaramente un emiciclo aderente ad una struttura che si sviluppa in lunghezza (probabilmente un'opera idraulica) che vengono rappresentati con sicurezza in tutte le fonti, strutture assimilabili a porticati o criptoportici e un possibile ninfeo, oltre alla stanza sotterranea all'interno della quale sono state rinvenute gran parte delle opere di statuaria relative all'area oggi visibili all'interno del circuito dei Musei Capitolini di Roma;
- l'ultimo livello di informazioni riguarda quello legato in maniera maggiore all'aspetto evocativo e ipotetico della ricostruzione, cioè quello della caratterizzazione dell'alzato degli edifici, della quale abbiamo come unica guida il prodotto grafico di Inklinsk che ipotizza le caratteristiche morfologiche delle evidenze archeologiche dettagliando maggiormente l'aspetto dell'emiciclo con opera idraulica già descritto nel plastico di

Gismondi e inserendo tutta una serie di edifici accessori legati, plausibilmente, più ad una necessità grafica che ad una fonte archeologica vera e propria.

La messa a sistema delle informazioni fin qui descritte ha permesso la progettazione degli output della ricerca che prevedono lo sviluppo di un modello tridimensionale virtuale realizzato con il modellatore *NURBS Rhinoceros* per la visualizzazione delle evidenze archeologiche sia in pianta sia a livello di ipotesi ricostruttiva volumetrica e caratterizzata dalla quale derivare un modello fisico accessibile stampato in 3d mediante estrusione di PLA e successivo carteggio e stuccatura delle giunzioni. La modellazione tridimensionale è stata effettuata considerando la stampa di un modello di dimensioni 100x60cm: su quest'area si è andata perciò a replicare la morfologia derivata dalle piante descritte poco sopra che è stata successivamente divisa in otto pezzi da riassemble a causa delle necessità di spazio all'interno della stampante 3D. Una volta ottenuta la conformazione del terreno tramite il disegno di curve di livello, sullo stesso sono stati previsti gli incastri per gli edifici sovrastanti tramite la ricostruzione formale derivante dalle informazioni incrociate dalle piante e dall'ipotesi di Inklinsk (Fig. 4).

Il passo successivo è stato quello della modellazione degli edifici innalzando le piante dei resti archeologici e caratterizzandole con i dettagli derivanti dalla rappresentazione di Inklinsk. Le caratteristiche degli alzati sono state semplificate tenendo fede alla finalità dell'esplorazione aptica di questo modello e perciò tenendo ben presente le distanze tra i vari elementi delle facciate e la loro restituzione semplificata; nonostante questo, dal punto di vista visivo, ogni edificio è rimasto riconoscibile e proporzionato all'interno del suo processo di semplificazione. Gli elementi ottenuti sono stati ulteriormente caratterizzati con l'apposizione di un identificati in nero e braille sui vari modelli (Fig. 5).

La stampa della porzione di strade di Via Labicana e di Via Merulana antiche ha invece richiesto lo sviluppo lineare della loro estensione, per poi essere stampate e adattate alle pendenze del terreno tramite il calore. Il modello così ottenuto è stato stuccato e levigato per eliminare i segni delle giunzioni e degli incollaggi e, come ultimo passaggio, ha ricevuto colorazioni diverse per distinguere le tipologie di elementi (crema per gli edifici, grigio per le strade e verde per il terreno) e per migliorare l'approccio da parte di fruitori ipovedenti grazie all'aumentato contrasto. A corredo del modello è stato anche pensato un pannello tattile con testi nero e braille a rilievo che contiene la legenda di tutti gli edifici esplorabili sul modello tridimensionale (Figg. 6-7-8).

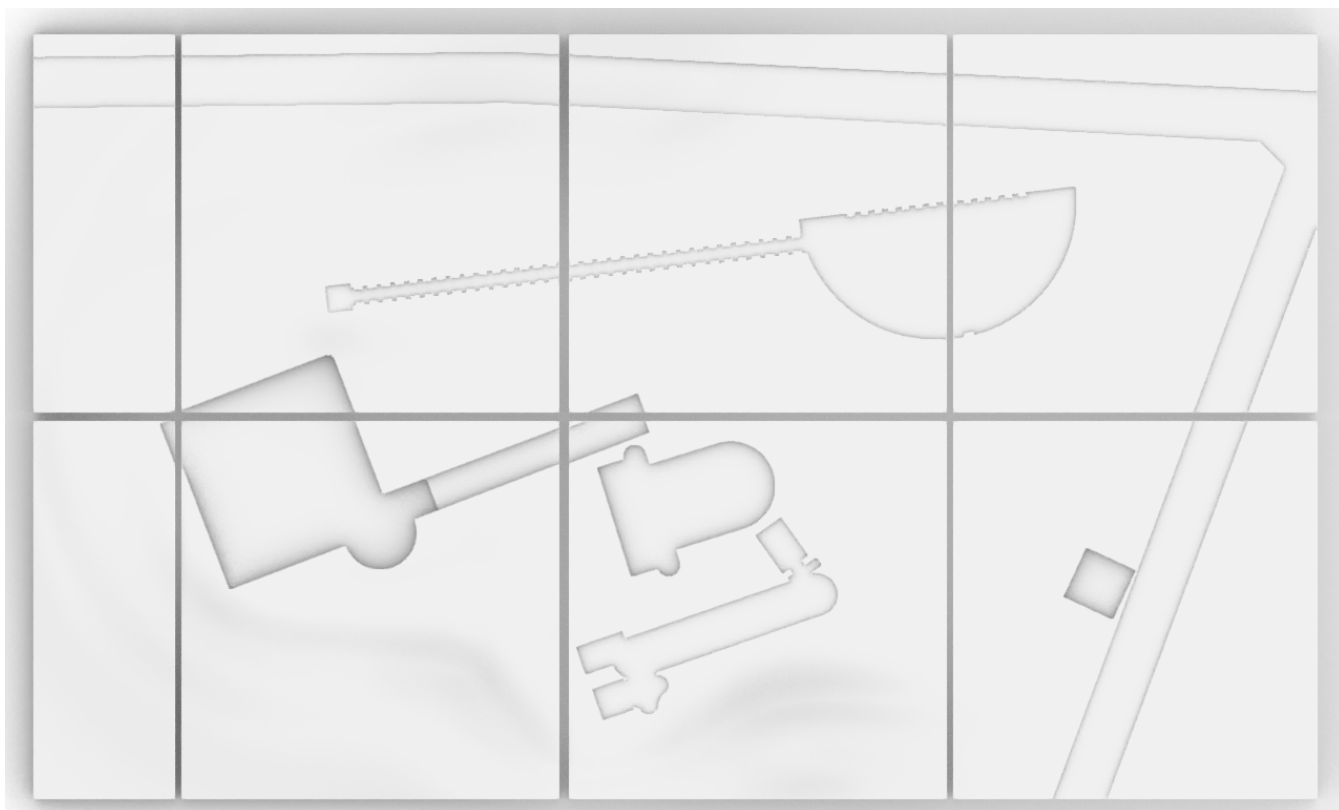


Fig.4: Restituzione tridimensionale dei dati relativi alla morfologia del terreno per la realizzazione della base da stampare in 3D. Si possono notare la divisione in otto blocchi da stampare separatamente e gli incassi previsti per gli edifici da apporre successivamente (elaborazione dell'autore).

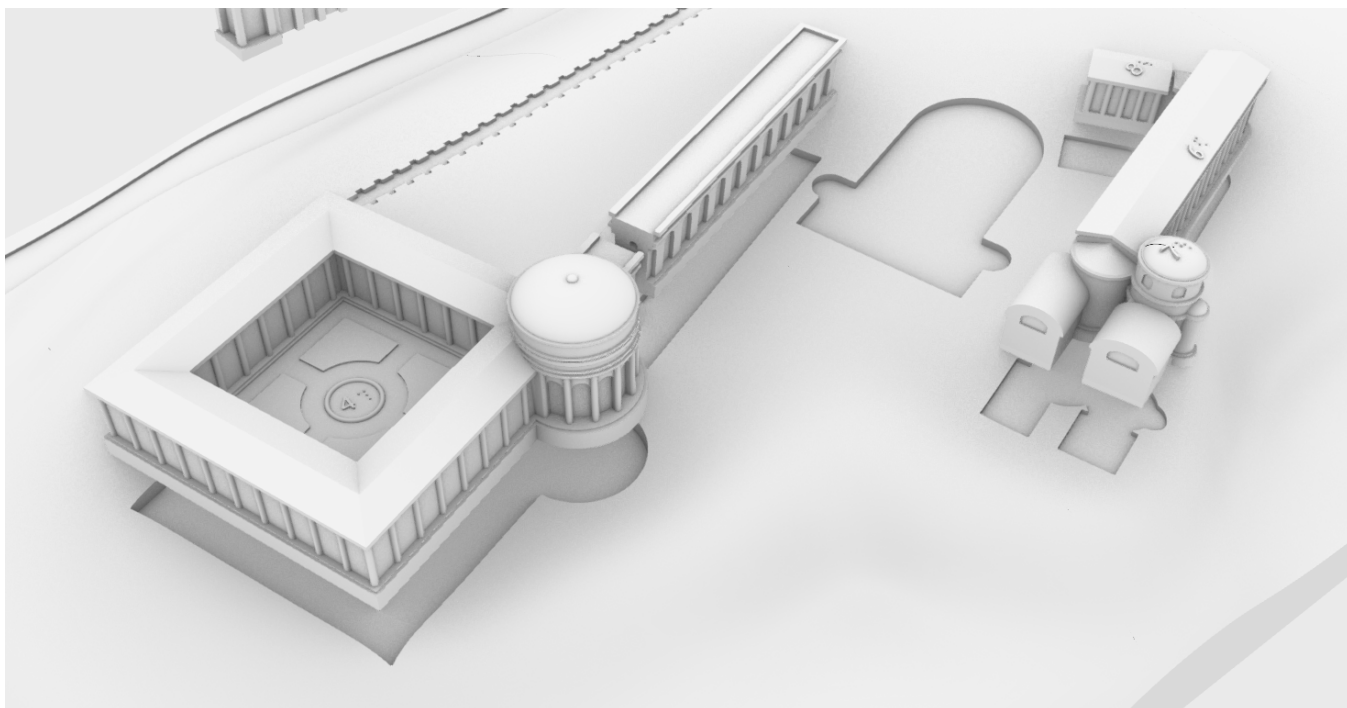


Fig.5: Vista della modellazione degli edifici nella quale si possono notare gli identificativi in nero e braille (elaborazione dell'autore).



Fig.6: Vista della modellazione degli edifici nella quale si possono notare gli identificativi in nero e braille (elaborazione dell'autore).

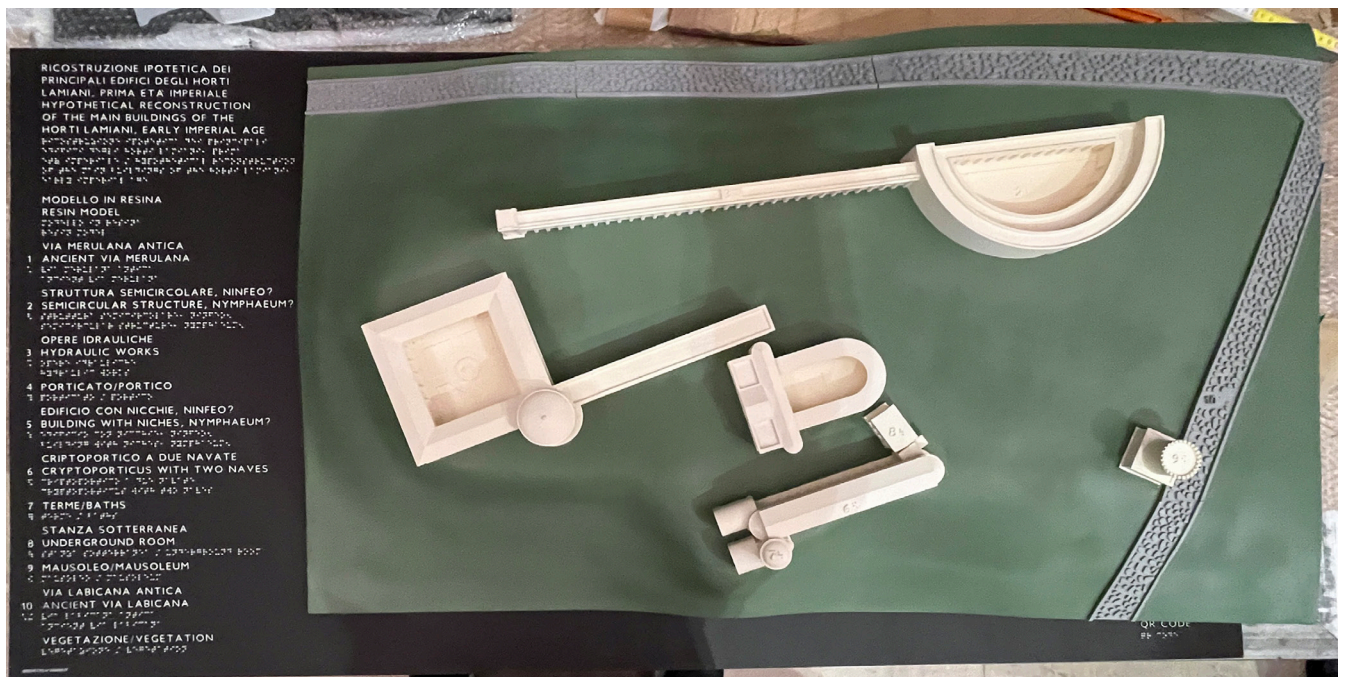


Fig.7: Installazione del plastico all'interno del pannello tattile con i testi nero e braille a rilievo.



Fig.8: Dettaglio della restituzione fisica del modello una volta completato il processo di stampa e colorazione.

Conclusioni

La modellazione tridimensionale degli Horti Lamiani ha tradotto l'ipotesi ricostruttiva di questo complesso imperiale in un modello multimediale e accessibile. Il processo ha incrociato le informazioni dalle fonti iconografiche (morfologia, evidenze archeologiche, ipotesi ricostruttive) per lo sviluppo di un modello virtuale per realizzare un modello fisicamente fruibile, in linea con l'obiettivo di comunicazione e accessibilità. Le caratteristiche degli alzati sono state semplificate per l'esplorazione aptica, rispettando le distanze e la soglia di risoluzione tattile. Questo approccio dimostra come le tecnologie 3D possano essere un valido strumento per superare le barriere comunicative e arricchire l'esperienza di fruizione del patrimonio storico-archeologico all'interno di percorsi museali.

Bibliografia

Alagia, D. (2014). *Horti Lamiani. Topografia e ricontestualizzazione della decorazione marmorea dalla tarda Repubblica all'età tardoantica* [Tesi di dottorato, Freie Universität Berlin].

Cima, M. (1996). Horti Lamiani. In E. M. Steinby (A cura di), *Lexicon Topographicum urbis Romae*. Quasar.

Cima, M., & La Rocca, E. (A cura di). (1986). *Le tranquille dimore degli dei: La residenza imperiale degli horti Lamiani* (Catalogo mostra). Marsilio.

Empler, T. (2013). Universal Design: ruolo del Disegno e Rilievo. *Disegnare. Idee Immagini*, (46), 52–63.

Empler, T. (2019). *ICT per il cultural heritage: Rappresentare, comunicare divulgare*. DEI - Tipografia del Genio Civile.

Empler, T., Caldarone, A., & Fusinetti, A. (2022). La stampa 3D come forma di rappresentazione per la comunicazione alla disabilità visiva. In C. Cándito & A. Meloni (A cura di), *DAI: Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione* (pp. 476–491). PUBBLICA.

Empler, T., & Fusinetti, A. (2019). Rappresentazione visuo-tattile. Comunicazione tattile per i disabili visivi. In P. Belardi (A cura di), *Riflessioni. L'arte del Disegno/il Disegno dell'arte. Atti del 41° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione* (pp. 1563–1572). FrancoAngeli.

Empler, T., & Fusinetti, A. (2020). Rappresentazioni a rilievo nei percorsi museali. *Diségno*, (6), 169–178.

La Rocca, E., & Cima, M. (A cura di). (1998). *Horti Romani: Atti del convegno, Roma 1995*. L'Erma di Bretschneider.

Serlorenzi, M. (2023). Il Museo Ninfeo. Storia di una ricerca. *Bollettino di Archeologia On Line*, XIV(2).

IMAGE-TO-BIM. AI PER L'INTEGRAZIONE DELL'APPARATO DECORATIVO NEI MODELLI INFORMATIVI

Image-to-BIM. AI for the Integration of Decorative
Apparatus in Informative Models

Authors

Andrea Migliosi¹, Claudia Cerbai¹, Simona Ceccaroni¹, Filippo Cornacchini¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia

Email

andrea.migliosi@dottorandi.unipg.it
claudia.cerbai@dottorandi.unipg.it
simona.ceccaroni@dottorandi.unipg.it
filippo.cornacchini@dottorandi.unipg.it

Keywords

HBIM
HERITAGE DIGITIZATION
AI FOR BIM
PARAMETRIC MODELING
DEPTHMAP EVALUATION

Abstract

La ricerca propone una metodologia per la generazione e l'integrazione di elementi ornamentali tridimensionali nei modelli HBIM attraverso l'elaborazione automatica di *input* visivi mediante l'intelligenza artificiale. Il *workflow* combina modelli *image-to-depth*, valutazione algoritmica e modellazione parametrica, offrendo una digitalizzazione rapida, accessibile e informativa. Applicato al caso reale della Basilica di Santa Maria degli Angeli ad Assisi, il metodo unisce coerenza formale e densità semantica.

The research proposes a methodology for the generation and integration of three-dimensional ornamental elements into HBIM models through the automatic processing of visual inputs by means of artificial intelligence. The workflow combines image-to-depth models, algorithmic evaluation, and parametric modeling, offering a rapid, accessible, and information-rich digitization process. Applied to the real case of the Basilica of Santa Maria degli Angeli in Assisi, the method achieves a balance between formal coherence and semantic density.

Introduzione

Nel contesto della progressiva digitalizzazione del patrimonio culturale architettonico, l'integrazione tra modelli informativi (HBIM), algoritmi generativi e tecnologie di intelligenza artificiale rappresenta una delle traiettorie più promettenti e complesse della ricerca contemporanea. In particolare, la possibilità di generare modelli tridimensionali informati a partire da semplici *input* visivi apre scenari innovativi nella rappresentazione, gestione e valorizzazione del costruito storico, superando le rigidità della modellazione manuale e le barriere dei metodi tradizionali.

Il contributo propone una metodologia sperimentale per la ricostruzione semi-automatica di elementi decorativi tridimensionali tramite una *pipeline* che coniuga modelli AI per la stima di profondità (*image-to-depth*), algoritmi di valutazione automatica e modellazione parametrica in ambienti interoperabili. Le componenti ornamentali, spesso escluse dai modelli informativi per la loro complessa modellazione, sono invece centrali per l'identità storica e simbolica dell'edificio. Ciò comporta un impoverimento semantico dei modelli, che spesso tendono a privilegiare gli aspetti strutturali e geometrici a discapito della dimensione iconografica e simbolica dell'edificio, compromettendo la fruizione conoscitiva e conservativa del bene. L'obiettivo è, quindi, duplice: offrire uno strumento pratico per la digitalizzazione rapida di elementi complessi e, al contempo, dimostrare come la combinazione tra inferenza visiva e struttura informativa possa costituire un dispositivo di integrazione semantica nei modelli HBIM [Alshawabkeh et al., 2024; Miky et al., 2024].

A livello internazionale, la letteratura sull'impiego dell'AI nel campo del *Cultural Heritage* ha evidenziato negli ultimi anni una crescente attenzione verso la *depth estimation* [Visutsak et al., 2025] da immagini 2D [Malik et al., 2011], con applicazioni che spaziano dalla valorizzazione museale [Bianconi et al., 2024a; Pauls et al., 2023] alla ricostruzione semantica del *built heritage* [Rocha & Mateus, 2024]. Tuttavia, la maggior parte degli studi si concentra su scene urbane generiche o su oggetti comuni, trascurando gli apparati decorativi complessi.

Da un punto di vista teorico, lo sviluppo non è inteso solo come avanzamento tecnologico di una *pipeline* digitale, ma come distensione generativa della forma a partire da una matrice visiva [Oxman,

2010]. L'immagine fotografica diventa così una base informativa da cui può essere derivata la geometria tridimensionale mediante processi inferenziali. Tale visione è coerente con le prospettive della progettazione algoritmica [Terzidis, 2006], della modellazione procedurale orientata all'informazione [Andriasyan et al., 2020; Croce et al., 2023] e della semiotica visiva applicata all'architettura [Eco, 1968; Jenks, 1977], secondo cui la rappresentazione non è solo un atto descrittivo ma un atto generativo.

In tale direzione, il presente contributo si propone di dimostrare come sia possibile generare e integrare nei modelli HBIM componenti ornamentali tridimensionali a partire da una singola immagine fotografica, attraverso un *workflow* formalizzato, oggettivo e replicabile. La *pipeline*, sperimentata su un caso reale all'interno della Basilica di Santa Maria degli Angeli ad Assisi, costituisce un passo concreto verso l'automazione informata della forma, restituendo un *output* semanticamente ricco e formalmente riconoscibile anche se limitato nella precisione metrica assoluta.

Metodologia

La metodologia sperimentale sviluppata in questo contributo si fonda su un sistema operativo integrato che articola, in modo sinergico e funzionalmente coeso, tre ambienti tecnologici distinti ma interdipendenti: l'intelligenza artificiale generativa per la stima della profondità a partire da immagini bidimensionali, un modulo di valutazione algoritmica automatizzata, realizzato in linguaggio *Python*, e un ambiente di modellazione parametrica, basato su *Dynamo*, per l'elaborazione e l'integrazione dell'oggetto tridimensionale all'interno di *Autodesk Revit* (Fig. 1). Tale configurazione si delinea come un *workflow* computazionale stratificato, nel quale ciascun ambiente contribuisce alla costruzione progressiva dell'oggetto informativo, accompagnando la transizione dall'immagine come *input* visivo alla forma come entità strutturata, semanticamente informata.

Il primo passaggio è costituito dall'impiego di *ComfyUI*, un'interfaccia grafica *open-source* basata sull'architettura *Stable Diffusion*, progettata per consentire la costruzione di *pipeline* personalizzate attraverso la configurazione modulare di nodi funzionali [Bianconi et al., 2024b]. A differenza di ambienti chiusi o modelli preconfezionati, *ComfyUI*



Fig. 1: Workflow per la generazione e l'integrazione di elementi ornamentali in ambiente HBIM.

offre una estrema flessibilità operativa, che consente di attivare e orchestrare simultaneamente più modelli AI specializzati (Fig. 2), garantendo una gestione differenziale e comparativa dei risultati [Wang *et al.*, 2022]. Per la presente ricerca sono stati adottati otto modelli AI per *image-to-depth* (Tab.1), ciascuno caratterizzato da una specifica architettura e da una differente sensibilità alla morfologia dell'oggetto, alla variazione dei gradienti o alla coerenza altimetrica. Alcuni risultano più robusti nella lettura generale delle masse volumetriche, mentre altri si distinguono per la maggiore attenzione ai contorni, alla profondità relativa o alla granularità del dettaglio.

La loro esecuzione parallela consente la produzione simultanea di otto *depthmap* della medesima immagine fotografica di *input*, ciascuna caratterizzata da tratti morfologici e formali distinti. Tale pluralità di interpretazioni offre la possibilità di un primo confronto qualitativo a livello visivo, che consente all'operatore di valutare, anche solo percettivamente, le differenze nella restituzione delle forme, nella nitidezza dei bordi e nella distribuzione delle profondità.

Per superare l'intrinseca soggettività delle valutazioni visive e introdurre un criterio selettivo oggettivo, sistematico e replicabile, è stata implementata una fase di valutazione algoritmica automatizzata, sviluppata mediante uno *script* in linguaggio *Python*.

Avvalendosi delle principali librerie per l'elaborazione numerica e la computazione visiva, lo *script* esegue una classificazione automatizzata, ordinando le *depthmap* secondo una gerarchia di qualità morfologica fondata su evidenze metriche. La procedura si articola attraverso il calcolo di quattro indicatori indipendenti (Tab.2), ciascuno dei quali viene sottoposto a normalizzazione *min-max*, così da garantire la confrontabilità e l'equilibrio scalare.

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i$$

S = Indice Sintetico Ponderato;
 n = numero totale di indicatori computazionali;
 xi = valore normalizzato dell'i-esimo indicatore;
 wi = indice di peso attribuito all'i-esimo indicatore

Individuata la *depthmap* più adatta attraverso il sistema di *scoring* multiparametrico, il *workflow* procede con la sua trasformazione in geometria tridimensionale. Questa fase viene condotta all'interno di un flusso parametrico sviluppato in ambiente *Dynamo* per *Autodesk Revit*, in cui ogni pixel

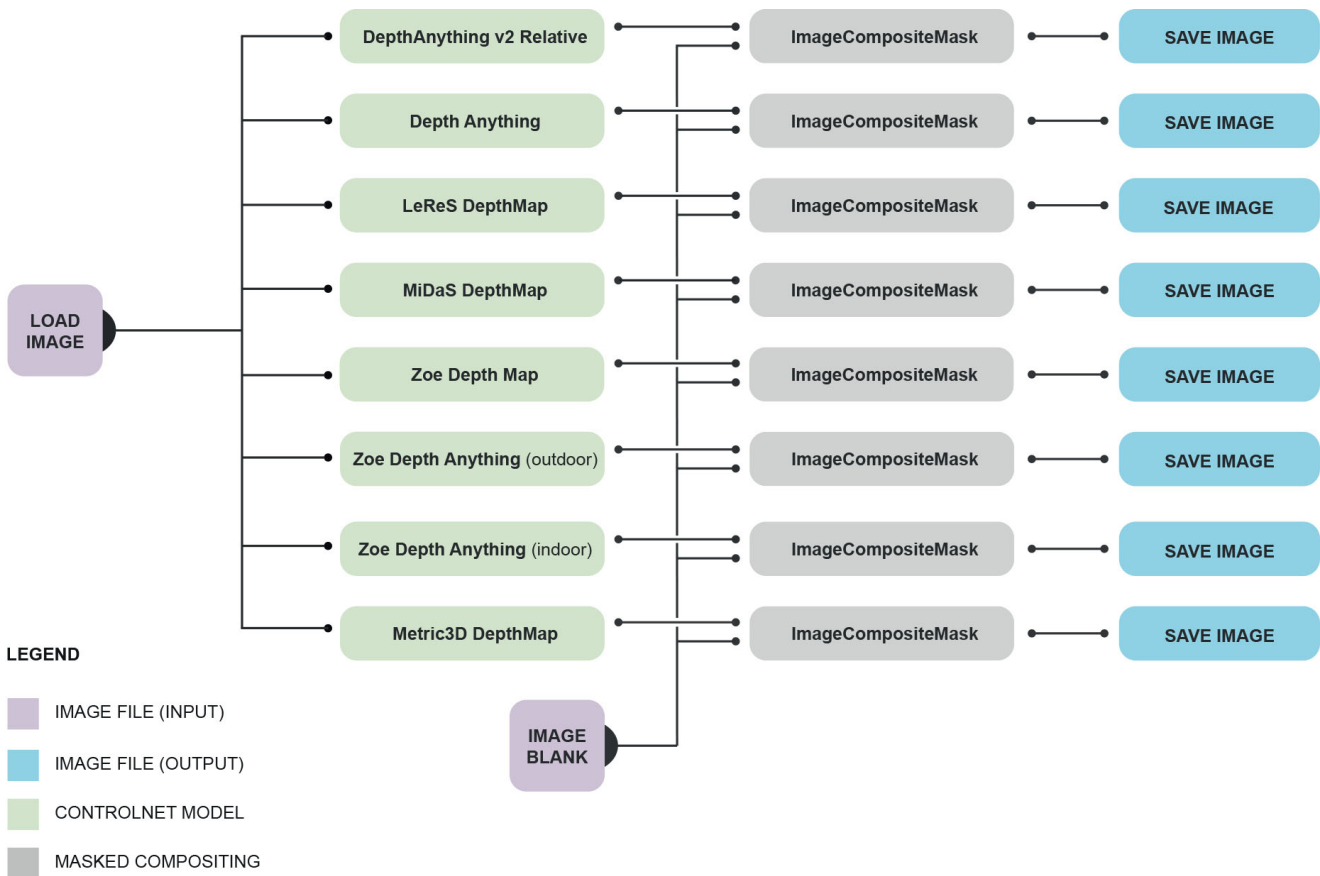


Fig.2: Schema operativo di ComfyUI per la valutazione automatica delle *depthmap*.

Modulo Image-to-depth	Descrizione
Depth Anything	Versatile e robusto nella conservazione dei contorni, ottimale per geometrie architettoniche.
Depth Anything v2 Relative	Modello <i>transformer-based</i> per la stima relativa della profondità, adatto a forme complesse con occlusioni parziali.
LeReS DepthMap	Sensibile ai margini e alle discontinuità geometriche, utile in presenza di forti rilievi plastici.
Metric 3D DepthMap	Genera profondità assolute, utile in contesti <i>indoor</i> ma più suscettibile al rumore nei dettagli.
MiDaS	Efficace in condizioni di luce complessa e forte varietà di <i>texture</i> superficiali.
Zoe Depth Anything (indoor)	Modello addestrato su <i>dataset</i> contestualizzato, adatto prevalentemente a soggetti in spazi chiusi.
Zoe Depth Anything (outdoor)	Modello addestrato su <i>dataset</i> contestualizzato, adatto prevalentemente a soggetti in spazi aperti.
Zoe DepthMap	Versione ibrida che media tra prestazioni generali e sensibilità locale alla forma.

Tab.1: Modelli IA *image-to-depth* utilizzati nella sperimentazione e principali caratteristiche funzionali.

Indicatori normalizzati	Descrizione
Contrasto (<i>contrast</i>)	Deviazione standard dei valori di profondità, indicativa della variazione topografica dell'oggetto.
Edge preservation (<i>edge_preservation</i>)	Varianza del filtro Laplaciano, utile a quantificare la capacità della mappa di rappresentare i dettagli e le discontinuità morfologiche.
SSIM (<i>Structural Similarity Index Measure</i>)	Misura la somiglianza strutturale tra l'immagine originale e la mappa di profondità normalizzata, garantendo coerenza visiva tra <i>input</i> e inferenza.
Entropia della distribuzione (<i>depth_distribution</i>)	Calcolata come entropia dell'istogramma dei valori di profondità, riflette la ricchezza informativa e la complessità della struttura.

Tab.2: Indicatori computazionali alla base della valutazione quantitativa dell'indice sintetico ponderato.

della *depthmap* è considerato come l'unione di due tipologie d'informazione: la posizione planimetrica, identificata dalle coordinate sul piano XZ, e un valore di intensità in scala di grigi, che viene interpretato come quota altimetrica relativa lungo l'asse ortogonale al piano.

Il processo di modellazione inizia con una discretizzazione punto per punto dei valori della *depthmap*, che permette di generare una griglia regolare nello spazio tridimensionale conservando la

proporzionalità geometrica dell'immagine sorgente. La nuvola di punti così ottenuta viene utilizzata per ricostruire una superficie interpolata che, successivamente, può essere sottoposta a un'ottimizzazione topologica volta a ridurre la densità poligonale e migliorare l'efficienza computazionale, senza pregiudicare la leggibilità morfologica del modello. La *mesh* generata è pienamente esportabile in formati interoperabili standard come *.obj* e *.fbx*, oppure direttamente integrabile in *Autodesk Revit* come massa

concettuale o famiglia caricabile, pronta per essere arricchita di parametri informativi e catalografici.

Questa transizione segna una discontinuità metodologica rispetto agli approcci tradizionali: non più semplici *texture* applicate su superfici standardizzate, né modelli stilizzati creati manualmente, ma componenti tridimensionali generati in modo automatizzato, formalmente riconoscibili e semanticamente informabili, che rientrano a pieno titolo nella logica integrata dei sistemi HBIM [Parrinello *et al.*, 2023]. Si realizza così la trasformazione di un'immagine visiva in oggetto computabile, manipolabile e interrogabile, in grado di coniugare efficienza geometrica, interoperabilità digitale e valore culturale.

Caso Studio

Per testare l'efficacia e l'affidabilità del *workflow* proposto, la sperimentazione è stata applicata a un elemento ornamentale scultoreo localizzato su uno dei pilastri portanti della cupola della Basilica di Santa Maria degli Angeli ad Assisi, costruita a partire dal 1569 [Di Boveglio & D'Isola Maggiore, 1834] su progetto di Galeazzo Alessi a protezione ed esaltazione della Porziuncola, cuore spirituale del francescanesimo [Mancini & Scotti, 1989]. L'interno del santuario riflette la sobrietà della tradizione francescana, con un apparato decorativo essenziale, interrotto solo dall'opulenza cromatica e plastica delle cappelle [Bianconi *et al.*, 2024c; Ferretti, 2024]. In particolare, la cupola presenta una decorazione contenuta ma significativa ospitando un insieme articolato di interventi decorativi pittorici, bassorilievi e sculture tridimensionali. Ciascuno dei quattro grandi pilastri della crociera accoglie, in nicchie sopraelevate con cornice modulata, una statua orientata verso la Porziuncola. Uno di questi elementi è stato scelto come caso studio sia per l'elevata complessità morfologica della scultura (Fig. 3), caratterizzata da articolazioni volumetriche profonde, sovrapposizioni plastico-anatomiche e pieghe dinamiche dell'apparato vestimentario, sia per la sua inaccessibilità fisica, che impedisce il rilievo diretto e rende difficoltosa anche l'acquisizione tramite *laser scanner* o fotogrammetria da terra.

La posizione arretrata della statua all'interno della nicchia, rispetto al filo esterno del pilastro, genera coni d'ombra che ostacolano una corretta acquisizione geometrica e potrebbero restituire modelli parziali e lacunosi. In tale contesto, l'elaborazione generativa da singola immagine si configura come alternativa leggera, non invasiva e replicabile, capace di integrare o anticipare le fasi di rilievo tradizionale. Il caso studio, quindi, assume valore paradigmatico, offrendo una strategia operativa per la documentazione e la modellazione di elementi decorativi complessi in contesti logisticamente critici.

Applicazione della metodologia

L'immagine di *input* è stata acquisita con una fotocamera digitale ad alta risoluzione, posizionata frontalmente e allineata all'asse verticale della scultura, con un angolo il più possibile ortogonale per evitare distorsioni prospettiche o deformazioni che avrebbero compromesso l'elaborazione *depth-based*. L'illuminazione naturale, proveniente dall'alto, è stata sfruttata per mettere in evidenza le discontinuità morfologiche e i dettagli del manufatto. La fase di valutazione, applicata alle otto *depthmap* generate dai moduli AI selezionati, ha evidenziato una significativa eterogeneità nei punteggi aggregati, riflettendo la diversa capacità dei modelli nel restituire una morfologia coerente con la complessità del soggetto scultoreo. Tra le soluzioni analizzate (Fig. 4), la *depthmap* elaborata mediante *Depth Anything V2 Relative* ha ottenuto il punteggio complessivo più elevato (0.934), distinguendosi in particolare per un SSIM perfettamente aderente al riferimento (1.000) e per un'entropia massima della distribuzione altimetrica (0.991), indicativa di una ricchezza strutturale ben distribuita. Pur registrando valori lievemente inferiori rispetto al modello *Depth Anything* standard in termini di *edge preservation* e contrasto, il bilanciamento complessivo degli indicatori ha reso questa soluzione la più adatta al caso specifico.

La validità della scelta è stata ulteriormente confermata in fase di modellazione, in cui la griglia tridimensionale generata a partire dalla *depthmap* selezionata ha restituito una superficie continua, regolare e formalmente coerente, priva di artefatti locali e ben articolata anche nelle zone a maggiore complessità volumetrica, come le pieghe del pannello o le sovrapposizioni tra figura e sfondo. La mappa selezionata ha dunque garantito un livello di leggibilità iconografica e tipologica pienamente in linea con le finalità informative del progetto HBIM (Fig. 5), dimostrandosi adeguata sia per la documentazione conservativa che per l'integrazione in sistemi di schedatura e valorizzazione digitale del patrimonio.

Discussione critica dei risultati

L'analisi comparativa tra le *depthmap* e i relativi modelli tridimensionali ha confermato una solida corrispondenza tra i punteggi derivati dal sistema di *scoring* e la qualità geometrica degli *output*. SSIM ed entropia altimetrica si sono rivelati i parametri più efficaci per riflettere la qualità percepibile del modello finale, premiando quelle *depthmap* in grado di mantenere una coerenza strutturale globale e un buon equilibrio tra masse, volumi e articolazioni. Al contrario, l'indicatore di *edge preservation*, pur utile per evidenziare la nitidezza dei margini, talvolta

sovrastima soluzioni visivamente contrastate ma morfologicamente incoerenti, in cui i contorni netti non corrispondono ad un'effettiva articolazione tridimensionale interna. A tal fine, il ricorso a un sistema di *scoring* multiparametrico si è rivelato particolarmente utile, in quanto ha permesso di conciliare valutazioni percettive e metriche, compensando le parzialità dei singoli indicatori e restituendo una selezione più aderente alla qualità morfologica richiesta. La mappa caratterizzata dal più alto indice sintetico ponderato ha prodotto una superficie fluida e coerente anche nei passaggi più complessi, come le pieghe del panneggio e le transizioni volumetriche. Nonostante l'efficacia complessiva della *pipeline*, l'esperimento ha evidenziato alcuni limiti ricorrenti, sia di tipo morfologico che computazionale. La perdita di dettaglio in aree ad alta frequenza geometrica, come mani, volti o *texture* sottili, unita alla difficoltà nel ricostruire zone in ombra o a basso contrasto, ha comportato una certa rigidità plastica nei microvolumi, pur preservando la coerenza macro-formale. Sul piano computazionale, la generazione delle *mesh* richiede risorse significative, soprattutto in

ambienti HBIM complessi o su larga scala, rendendo opportuno un futuro adattamento del *workflow* a infrastrutture *cloud-native* o logiche distribuite. Una volta convertito in famiglia caricabile, il modello tridimensionale (Fig. 6) è integrabile in ambienti HBIM, anche sul piano informativo, grazie all'associazione di parametri semantici personalizzati. Il livello di qualità raggiunto è compatibile con LOD 300–350, adatto a usi documentari, museali e conservativi, con una gestione flessibile della densità *mesh* e dei livelli informativi in funzione della destinazione.

Conclusioni

La sperimentazione presentata dimostra la maturità operativa di un approccio computazionale integrato per la rappresentazione digitale degli apparati decorativi del patrimonio architettonico, in grado di coniugare inferenza algoritmica, valutazione automatizzata e modellazione parametrica informativa, superando l'emarginazione degli elementi ornamentali nei modelli informativi.



Fig.3: Elemento scultoreo selezionato per il test metodologico, Basilica di Santa Maria degli Angeli (Assisi).

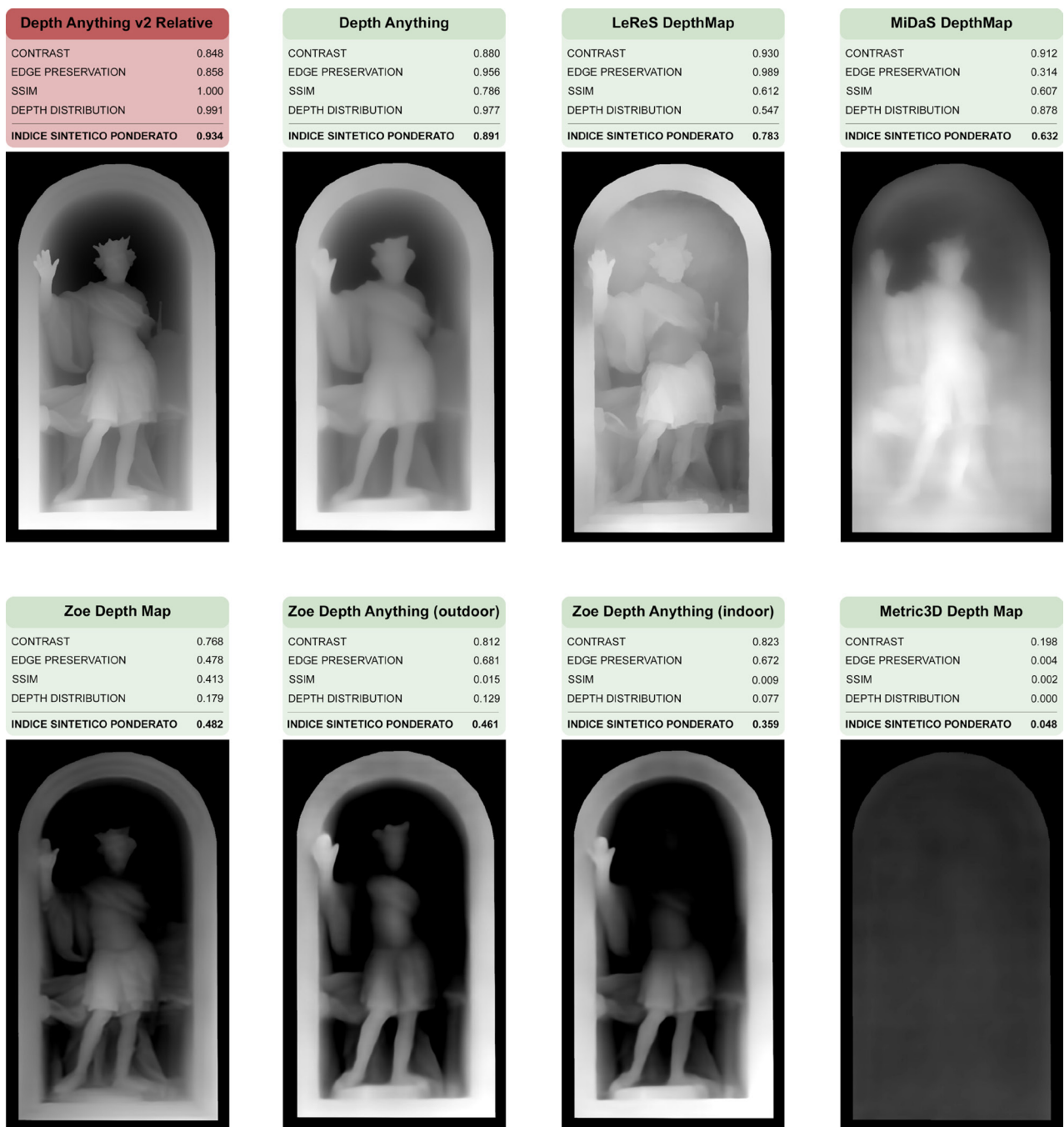


Fig.4: Esito del processo *image-to-depth*: confronto tra le otto soluzioni e riconoscimento computazionale della più conforme.

Il metodo si distingue per accessibilità e replicabilità, risultando efficace anche in contesti a bassa strumentazione, dove l'unico dato disponibile è una fotografia. Ciò apre scenari applicativi per manufatti vincolati, archivi storici o scenari operativi privi di rilievi specialistici. Il sistema si configura inoltre come punto di partenza per sviluppi futuri su tre direttrici principali: la costruzione di librerie ornamentali interoperabili per il restauro e la catalogazione, l'addestramento di modelli AI per la stima di profondità su oggetti scultorei e l'integrazione in ambienti immersivi e interattivi (XR, AR, metaversi culturali), dove morfologia e semantica costituiscono requisiti cruciali.

Pur rinunciando alla risoluzione metrica assoluta delle tecniche tradizionali, il metodo garantisce una coerenza plastica e formale sufficiente per usi documentari, museali e gestionali, privilegiando l'aspetto tipologico e informativo rispetto alla sola precisione dimensionale. Il contributo più innovativo risiede nella selezione oggettiva e automatizzata delle *depthmap*, integrata in un flusso di modellazione e codifica HBIM, che trasforma l'immagine da semplice documento visivo ad agente generativo di forma, struttura e conoscenza all'interno dell'ecosistema digitale del patrimonio.

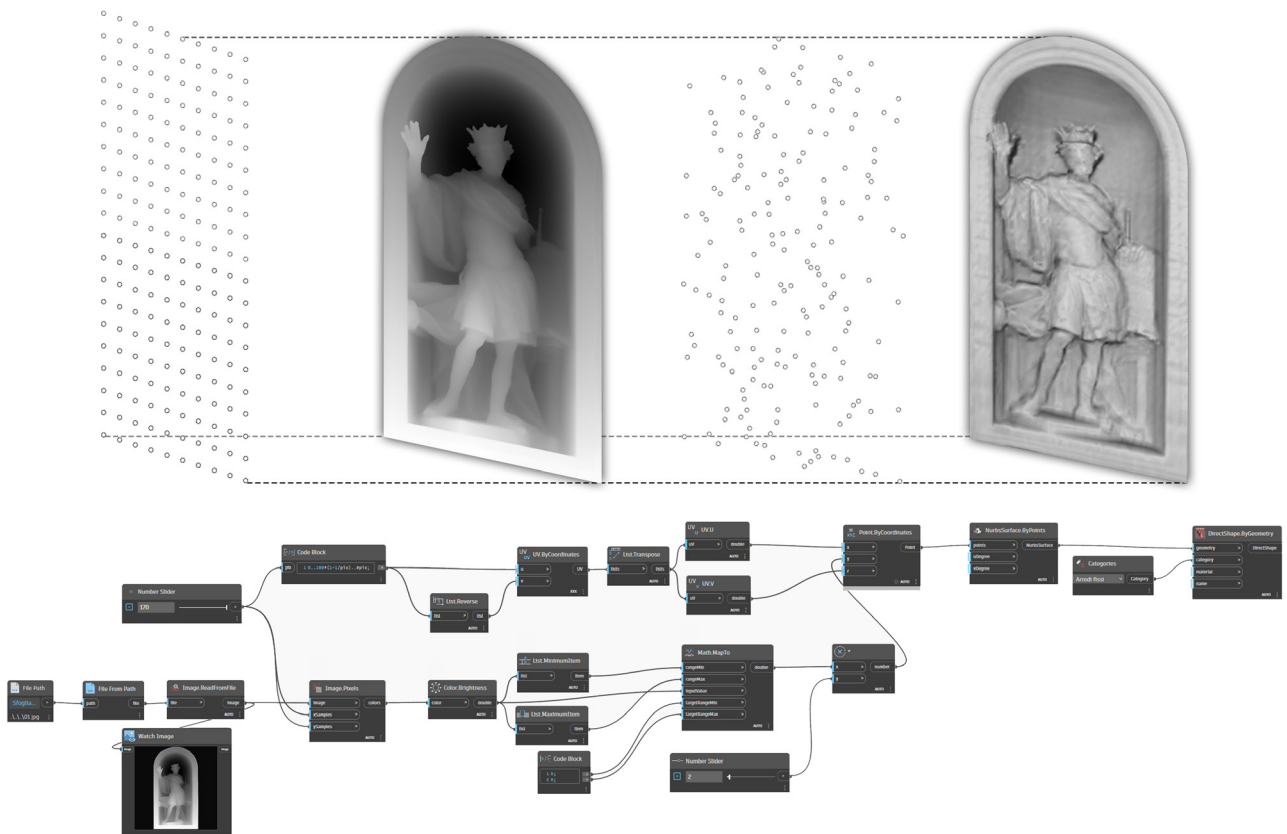


Fig.5: Schematizzazione del processo *depth-to-geometry* in *Dynamo*: da griglia di punti a *mesh* finale.

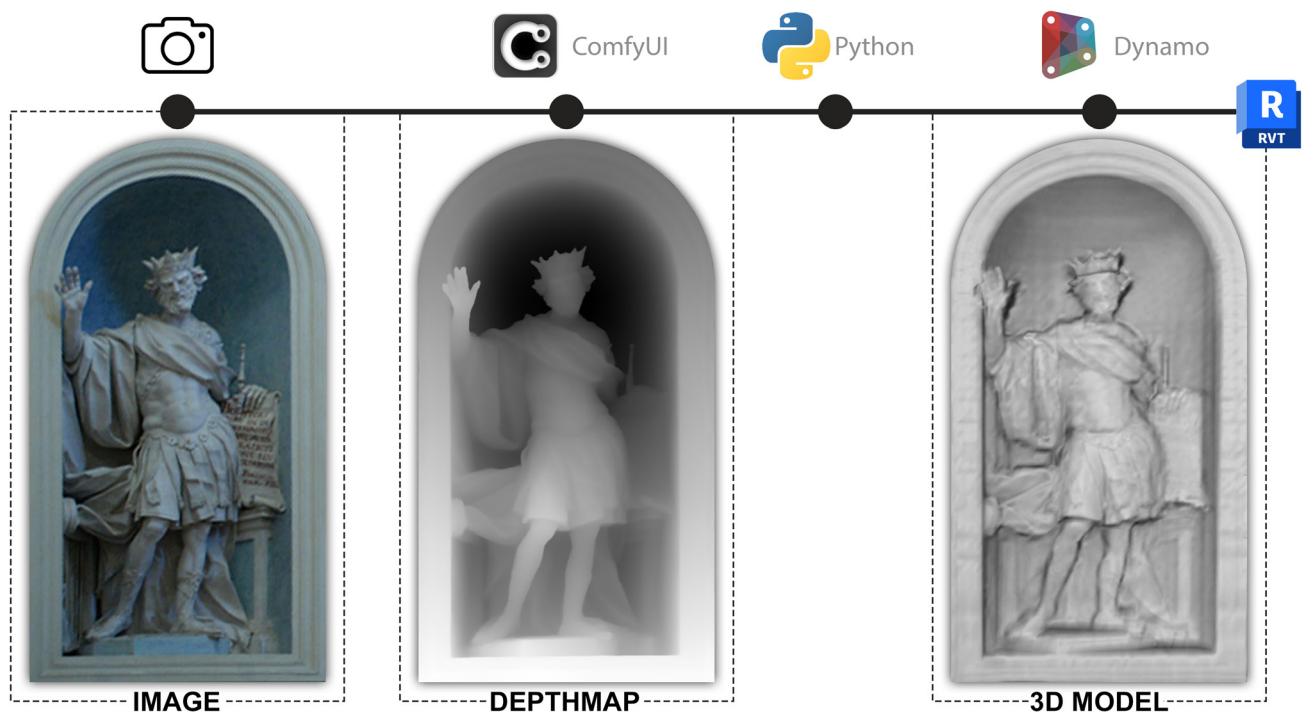


Fig.6: *Workflow* per la generazione automatizzata di componenti decorativi tridimensionali.

Bibliografia

Alshawabkeh, Y., Baik, A., & Miky, Y. (2024). HBIM for Conservation of Built Heritage. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13, 231.

<https://doi.org/10.3390/IJGI13070231>

Andriasyan, M., Moyano, J., Nieto-Julián, J., & Antón, D. (2020). From Point Cloud Data to Building Information Modelling: An Automatic Parametric Workflow for Heritage. *Remote Sensing*, 12(7), 1094. <https://doi.org/10.3390/rs12071094>

Bianconi, F., Filippucci, M., Cerbai, C., Cornacchini, F., & Bertocci, S. (2024a). HBIM per connotare le informazioni. Ecosistemi Digitali per la conservazione del patrimonio architettonico della Basilica di Santa Maria degli Angeli. *DN*, 14, 46–58.

Bianconi, F., Filippucci, M., Cerbai, C., Meschini, M., Migliosi, A., & Mommi, C. (2024b). Digitalizzazione e Inclusione: l'Intelligenza Artificiale per esperienze museali multisensoriali. *DAI - Il Disegno per l'Accessibilità e l'Inclusione*, 462–475.

Bianconi, F., Filippucci, M., Migliosi, A., & Mommi, C. (2024c). AI-D. Algorithmic experiments with AI to aid drawing. *SC/RES-IT*, 14(2), 31–48.

<https://doi.org/10.2423/i22394303v14n2p31>

Croce, V., Caroti, G., Piemonte, A., De Luca, L., & Véron, P. (2023). H-BIM and Artificial Intelligence: Classification of Architectural Heritage for Semi-Automatic Scan-to-BIM Reconstruction. *Sensors*, 23(5), 2497.

<https://doi.org/10.3390/S23052497>

Di Boveglio, B., & D'Isola Maggiore, M. (1834). *Compendio storico del Perdono di Assisi e della chiesa detta Porziuncola*. Tipografia Sgariglia.

Eco, U. (1968). *La struttura assente. Introduzione alla ricerca semiotica*. Bompiani.

Ferretti, R. (2024). Integrated Digital Survey Techniques for the Documentation of the Artistic Heritage of the Franciscan Observance: the Pictorial Cycle of the Indulgence of Porziuncola by Tiberio d'Assisi. In *Franciscan Landscapes. Conservation, Protection and Use of Religious Cultural Heritage in the Digital Era*, 247–260. Didapress.

Jencks, C. (1977). *The Language of Post-Modern Architecture*. Academy Editions.

Malik, A. S., Choi, T. S., & Nisar, H. (2011). Depth map and 3D imaging applications: Algorithms and technologies. *Depth Map and 3D Imaging*

Applications: Algorithms and Technologies, 1–631. <https://doi.org/10.4018/978-1-61350-326-3>

Mancini, F. F., & Scotti, A. (1989). *La Basilica di Santa Maria degli Angeli. Vol. 1: Storia e architettura*. Electa Editori Umbri Associati.

Miky, Y., Alshawabkeh, Y., & Baik, A. (2024). Using deep learning for enrichment of heritage BIM: Al Radwan house in historic Jeddah as a case study. *Heritage Science*, 12(1), 1–22.

<https://doi.org/10.1186/S40494-024-01382-3>

Oxman, R. (2010). Morphogenesis in the Theory and Methodology of Digital Tectonics. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 51(3), 195–205.

Parrinello, S., Hangjun, F., & Sanseverino, A. (2023). HBIM Modelling for the architectural valorisation via a maintenance digital eco-system. *INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, XLVIII2(M-2),

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-I-M-2-2023-1157-2023>

Pauls, A., Pierdicca, R., Mancini, A., & Zingaretti, P. (2023). The Depth Estimation of 2D Content: A New Life for Paintings. In De Paolis, L. T., Arpaia, P & Sacco, M. (eds.) *BT - Extended Reality*, 127–145. Springer Nature Switzerland.

Rocha, G., & Mateus, L. (2024). Using Dynamo for Automatic Reconstruction of BIM Elements from Point Clouds. *Applied Sciences*, 14(10), 4078.

<https://doi.org/10.3390/app14104078>

Terzidis, K. (2006). *Algorithmic architecture*. Routledge.

Visutsak, P., Liu, X., Choothong, C., & Pensiri, F. (2025). SIFT-Based Depth Estimation for Accurate 3D Reconstruction in Cultural Heritage Preservation. *Applied System Innovation*, 8(43).

<https://doi.org/10.3390/ASI8020043>

Wang, T., Xinge, Z. H. U., Pang, J., & Lin, D. (2022). Probabilistic and geometric depth: Detecting objects in perspective. *Conference on Robot Learning*, 1475–1485.

EL IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS DIGITALES EN LA GESTIÓN MUSEAL: PLAZA ESPAÑA Y EL MUSEO METROPOLITANO DE ARTE URBANO, CÓRDOBA, ARGENTINA.

The Impact of Digital Technologies on Museum Management: Plaza España and the Metropolitan Museum of Urban Art, Córdoba, Argentina.

Authors

María Belén Moll^{1,2}, Victoria Ferraris¹, Carla Ferreyra^{1,2}, Nicolás Ruscelli¹, Anna Sanseverino³

¹Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

²Università degli Studi di Salerno, Italia

³Università degli Studi di Napoli Federico II, Italia

Email

belen.moll@mi.unc.edu.ar
victoria.ferraris@unc.edu.ar
cferreyra@unisa.it
nicolas.ruscelli@unc.edu.ar
anna.sanseverino@unina.it

Keywords

DIGITAL SURVEYING
BIM MODELING
ARCHITECTURAL VISUALIZATION
COLLABORATIVE WORK
MUSEUM MANAGEMENT

Abstract

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de investigación de la Universidad Nacional de Córdoba, "*Archivo Gráfico Digital: del dibujo a la experiencia inmersiva. Caso de estudio: Miguel Ángel Roca*", desarrollado en colaboración con la Universidad de Salerno (Italia). El estudio se centra en la digitalización como estrategia para la gestión eficiente de una de las obras más representativas del arquitecto: la Plaza España y el Museo Metropolitano de Arte Urbano (MMAU). A lo largo del proyecto se explora el potencial del *Building Information Modeling* (BIM) como instrumento de gestión integral, orientado a la documentación, interpretación y difusión de la obra arquitectónica y urbana de M.A.R. El eje del enfoque propuesto reside en la integración del relevamiento digital, el modelado de información y la visualización arquitectónica, entendidos como herramientas complementarias para enriquecer la experiencia del usuario y favorecer un acceso más amplio al patrimonio cultural.

This study is conducted within the framework of the research project, "Digital Graphic Archive: from drawing to immersive experience. Case study: Miguel Ángel Roca," a collaborative effort involving the University of Salerno (Italy) and the National University of Córdoba (Argentina). The research focuses on leveraging digitization as a strategic approach for the efficient management of one of the architect's most representative works: the Plaza España and the Metropolitan Museum of Urban Art (MMAU) in Córdoba. The central objective is to explore the potential of Building Information Modeling (BIM) as a comprehensive cultural heritage management tool, specifically tailored for documenting, interpreting, and disseminating Miguel Ángel Roca's (M.A.R.) architectural and urban production. The proposed methodology centers on the integration of digital surveying, information modeling, and advanced architectural visualization. These are understood as complementary tools intended to enrich the user experience and promote broader public access to this significant cultural heritage.

Introducción al Proyecto

El proyecto de investigación de la Universidad Nacional de Córdoba, "Archivo Gráfico Digital: del dibujo a la experiencia inmersiva. Caso de estudio: Miguel Ángel Roca", desarrollado en colaboración con la Universidad de Salerno (Italia) y la Tshwane University of Technology (Sudáfrica), tiene como objetivo principal el desarrollo de un sistema integrado de documentación, análisis y difusión de la obra arquitectónica de Miguel Ángel Roca (M.A.R.), a través de la implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling). Esta se concibe no sólo como una herramienta técnica de modelado tridimensional, sino como una plataforma multidimensional de información, orientada a la gestión, interpretación y puesta en valor del patrimonio construido.

El estudio se focaliza particularmente en la digitalización de una de las obras más emblemáticas del arquitecto: la Plaza España y el Museo Metropolitano de Arte Urbano (MMAU), empleando la técnica Scan-to-BIM. Esta metodología permite generar un archivo digital interoperable, orientado a la gestión eficiente del conjunto arquitectónico y accesible para equipos interdisciplinarios. Asimismo, se propone como un modelo replicable en otros contextos patrimoniales, contribuyendo a la conservación, comprensión y difusión del legado arquitectónico de M.A.R. mediante herramientas digitales [Ferreyra, 2024].

Plaza España, en palabras del propio arquitecto, constituye "un polo de acción cultural, recreativo, socializador y urbanizante" [Roca, 2024]. Concebida en la década de 1960 como una "plaza-monumento" en homenaje a la colectividad española, articula una narrativa visual a través de 32 tótems que relatan la historia de España y de la ciudad de Córdoba, configurando un verdadero museo a cielo abierto. En una segunda intervención realizada en 2023, M.A.R. incorpora un museo de arte urbano en el subsuelo de la plaza, aplicando la lógica de "construir sobre lo construido" sin alterar lo existente, sino revalorizándolo. Esta ampliación redefinió la apropiación social del espacio, consolidándolo como uno de los principales escenarios públicos y culturales de la ciudad, donde la comunidad no solo lo habita, sino que lo transforma activamente.

Reconociendo el rol estratégico de este espacio en las dinámicas sociales y culturales de Córdoba, el presente estudio se propone contribuir a su gestión eficiente y sostenible. Con el fin de identificar los principales desafíos asociados, se llevó a cabo una entrevista al director del MMAU, que permitió relevar problemáticas vinculadas a: a) la gestión de la infraestructura; b) la organización y curaduría de las exhibiciones; y c) la promoción y difusión cultural del museo.

A partir de estos desafíos, y en conjunto con el personal del museo, se definió como meta el desarrollo de una herramienta de gestión museal que

permita optimizar el funcionamiento, mantenimiento y comunicación del conjunto, aprovechando las potencialidades de las nuevas tecnologías digitales. En este marco, se optó por trabajar con la metodología Scan-to-BIM, que permite la generación de un modelo centralizado de información técnica y semántica, dinámico, interoperable y colaborativo [Ferreyra, 2021]. El modelo BIM, complementado con herramientas de visualización arquitectónica como la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV), permite abordar integralmente los retos mencionados, mejorando tanto la gestión del espacio como la experiencia museal (Fig. 1).

A partir de materiales de archivo (bocetos, dibujos, fotografías) integrados con relevamientos 3D, se procederá a la creación de modelos BIM de alto contenido informativo, capaces de representar no solo geometrías y materiales, sino también fases proyectuales, variantes ideacionales y relaciones urbanas [Lo Turco, 2022]. Estos modelos serán enriquecidos con metadatos (autoría, cronología, fuentes), en conformidad con los estándares BIM y las normas IFC. El núcleo del enfoque propuesto reside en la integración del levantamiento digital, el modelado informativo y la narración arquitectónica, con el propósito de superar la dicotomía entre representación técnica y transmisión cultural [Christillin, 2021].

El proyecto se llevó a cabo en distintas fases: recopilación y catalogación de materiales gráficos de archivo (dibujos, fotografías, videos, entrevistas); digitalización mediante técnicas de escaneo láser y fotogrametría; modelización de la información incorporando datos geométricos, históricos, técnicos con estructuración semántica del contenido; y desarrollo de un entorno digital integrado con módulos de exploración inmersiva (Fig. 1). Entendido como una plataforma colaborativa, dinámica y semántica, el modelo BIM permitirá releer y reelaborar críticamente el legado proyectual de M.A.R., facilitando su aplicación en contextos didácticos, profesionales y de divulgación general.

Relevamiento Digital de Plaza España y el MMAU

Durante 2024 se llevaron a cabo diversas campañas de relevamiento digital caracterizadas por su precisión y rapidez de ejecución. Las técnicas aplicadas incluyeron escaneo láser dinámico del conjunto arquitectónico, fotogrametría terrestre con capturas panorámicas del interior del museo, y aerofotogrametría del espacio urbano de Plaza España y su entorno inmediato.

El primer relevamiento consistió en un escaneo láser dinámico de Plaza España y el MMAU. Para ello se utilizó el dispositivo GeoSLAM Zeb Horizon, un

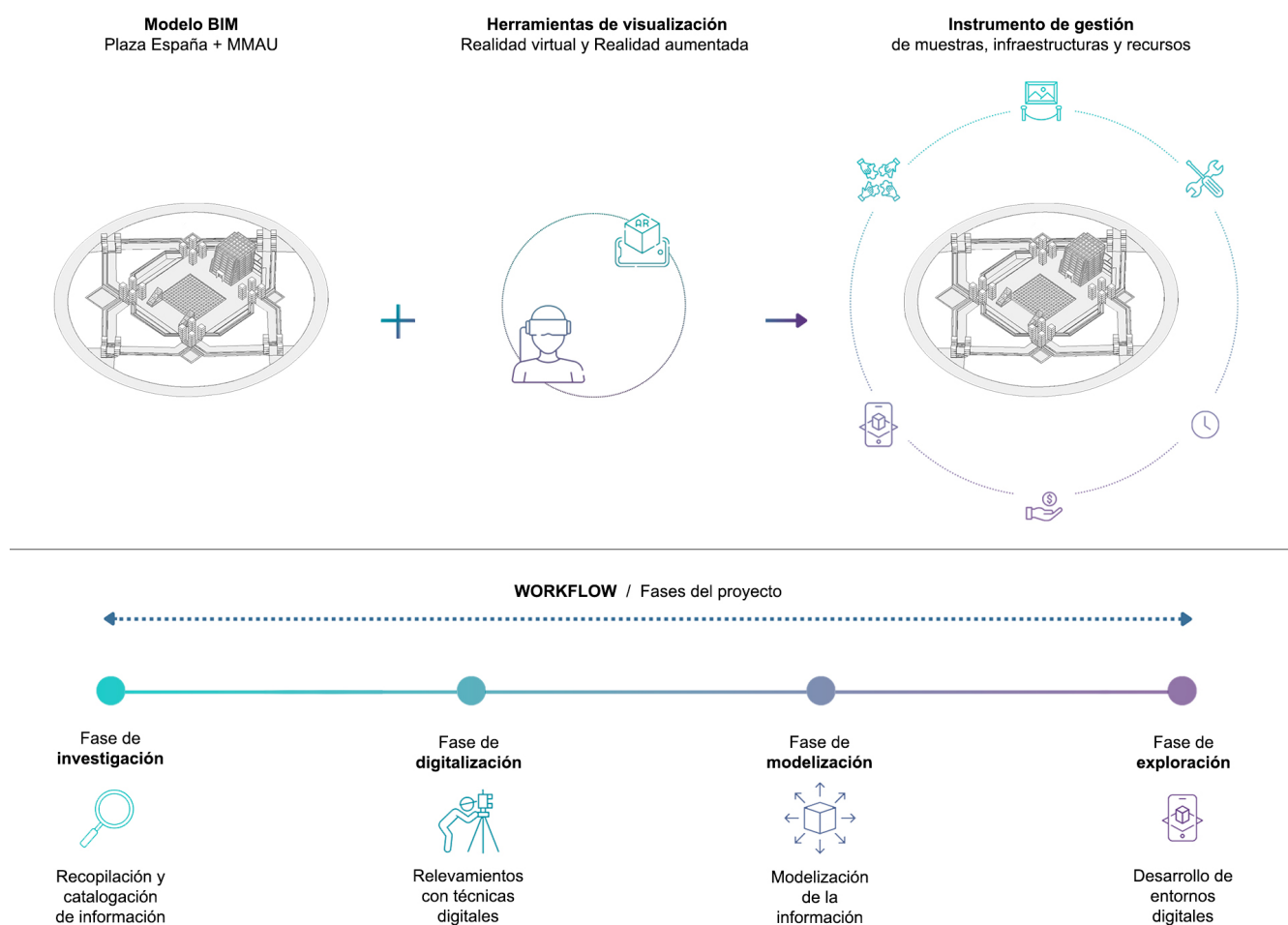


Fig. 1: Arriba, modelo BIM y herramientas de visualización arquitectónica (RV y RA) como instrumentos para la gestión museal. Abajo, Workflow: fases del proyecto: investigación / documentación / digitalización / exploración.

escáner de mediana precisión que emplea tecnología SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Esta técnica permitió la obtención de una nube de puntos tridimensional (Hess, 2021), que sirvió como base geométrica [Sammartano, 2021] para la posterior modelación digital en el software de autoría BIM seleccionado: Autodesk Revit [Ferreira, 2021] (Fig. 2).

El segundo levantamiento se enfocó en la captura de imágenes panorámicas de alta resolución del interior del museo mediante una cámara Insta360 [Wehmeier, 2022]. Las imágenes obtenidas fueron utilizadas para reconstruir una nube de puntos con información colorimétrica y, al mismo tiempo, para desarrollar un prototipo de recorrido virtual (virtual tour) de la exposición vigente al momento del relevamiento. Este recurso no solo funciona como herramienta de conservación de muestras efímeras, sino que permitió extraer detalles visuales de elementos singulares —como los paneles escultóricos de la plaza— que se incorporaron al modelo BIM en forma de texturas, enriqueciendo su contenido semántico y poniendo en valor el aspecto artístico del conjunto (Fig. 3).

Finalmente, se realizó un tercer relevamiento aerofotogramétrico con un dron DJI Mavic Air 2, capturando video en alta resolución a 29,97 fotogramas por segundo [Barba, 2020]. El material fue procesado con Agisoft Metashape para generar una nube de puntos colorimétrica del entorno exterior. Esta información fue incorporada al modelo BIM para representar la implantación urbana de la obra y proporcionar un marco contextual que complemente el análisis del conjunto arquitectónico (Fig. 4).

Modelización de la Información de la Obra de M.A.R.

Uno de los principales aportes del proyecto reside en su concepción del BIM no solo como herramienta de modelado, sino como instrumento de pensamiento proyectual. A través de un proceso Scan-to-BIM, de "ingeniería inversa", la descomposición y reconstrucción digital de la obra permite investigar la lógica espacial y constructiva que

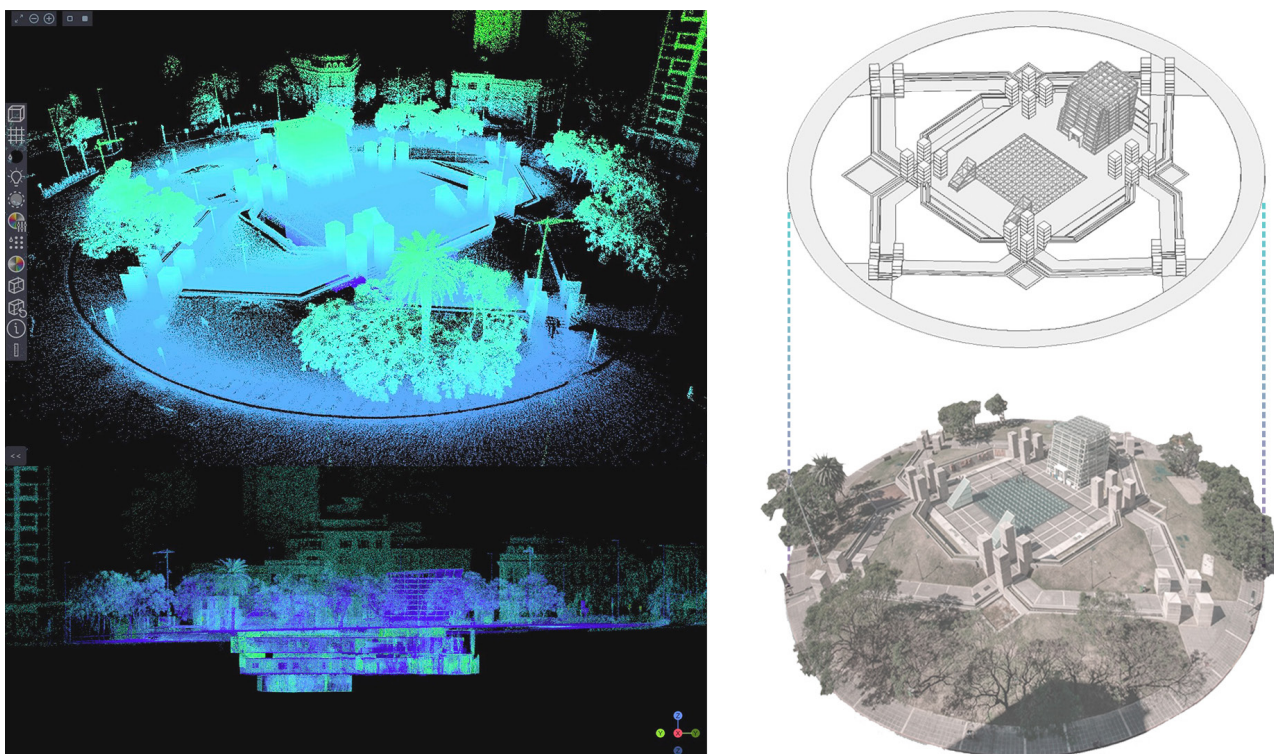


Fig. 2: Proceso Scan-to-BIM aplicado a Plaza España y el MMAU.

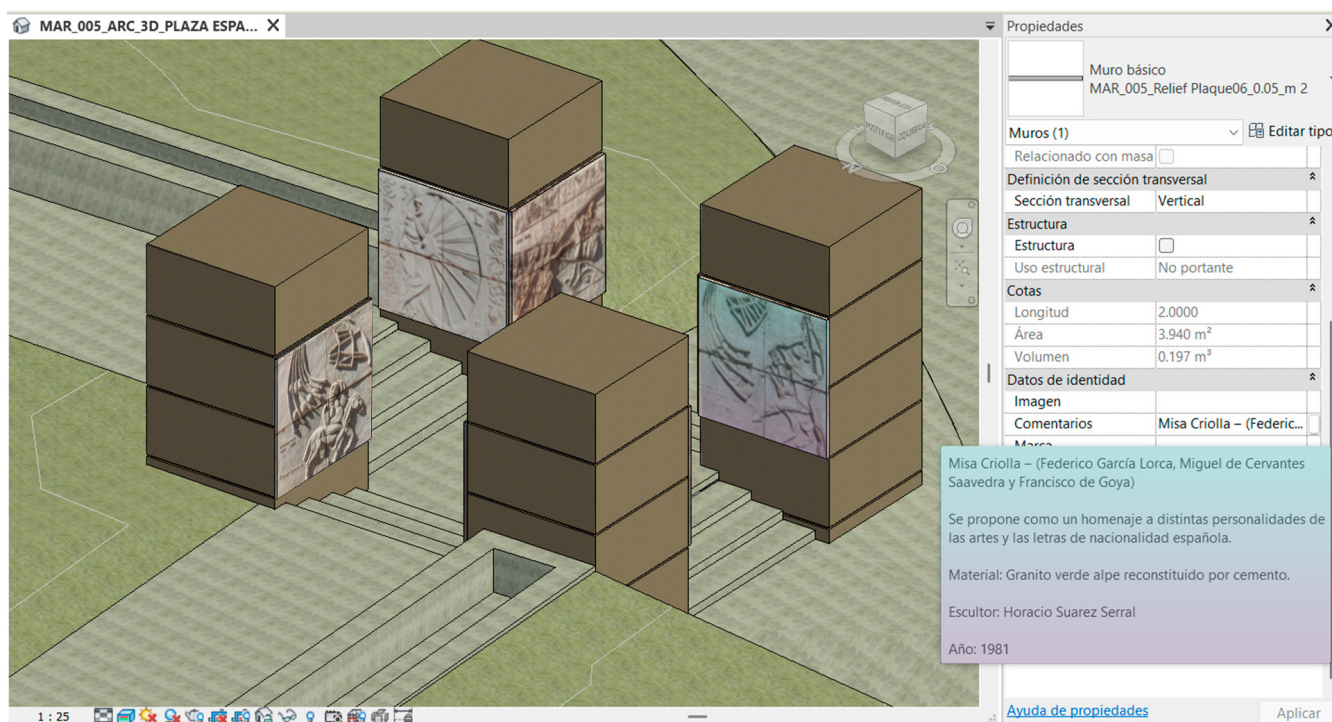


Fig. 3: Incorporación al modelo BIM de texturas que dan cuenta del valor artístico de la plaza.

sustenta el trabajo de M.A.R. En este sentido, el BIM se convierte en un medio de indagación crítica sobre la arquitectura, más allá de su representación formal [Bortot, 2020].

La integración de las distintas nubes de puntos en un sistema de referencia común enriqueció el

modelo final, posibilitando la visualización simultánea de múltiples capas de información y facilitando una comprensión integral del conjunto (Figs. 2, 4). Esto permitió aumentar el nivel de detalle en áreas significativas, como las envolventes del ingreso al museo y la cubierta acristalada del hall central (Fig.

5). Asimismo, se decidió incorporar al modelo las distintas etapas históricas de la plaza, con el objetivo de reflejar su evolución a lo largo del tiempo. Esta estrategia no solo profundiza la comprensión del objeto de estudio, sino que también revela lineamientos de diseño útiles para futuras intervenciones. Por ejemplo, entender el proyecto actual implica conocer su configuración previa: donde antes se percibía una “mastaba”, hoy se erige un cubo deformado; donde se ubicaba la fuente central, ahora se emplaza una gran cubierta vidriada. La superposición de estas capas temporales dentro del modelo facilita la visualización comparativa y el análisis histórico [Brusaporci, 2018].

Cabe señalar que la reconstrucción de las fases anteriores se llevó a cabo en ausencia de relevamientos digitales históricos. Por esta razón, se recurrió a documentación complementaria — planos antiguos, imágenes satelitales de Google Maps, fotografías— para realizar una modelación esquemática no rigurosa desde el punto de vista técnico, pero útil para visualizar y comparar las distintas etapas de intervención. El resultado de este proceso es una herramienta de gestión museal basada en un modelo digital detallado y dinámico, estructurado por fases, que integra tanto información técnica como semántica de Plaza España (Fig. 6). Desde este modelo es posible extraer materiales gráficos, datos actualizados de los componentes del conjunto y, además, permitir su ampliación progresiva conforme a las necesidades futuras.

Creación de un Entorno Digital Integrado con Exploración Inmersiva

Como complemento a la digitalización y modelización de la obra, el proyecto contempla el desarrollo de entornos virtuales interactivos y herramientas inmersivas basadas en realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA) [Bonacini, 2014]. Estas tecnologías permiten enriquecer la experiencia del usuario y ampliar el acceso a los contenidos, generando espacios digitales privilegiados para la consulta, exploración y gestión de la arquitectura. Por lo tanto, una vez concluido el proceso de digitalización, se avanzó en la implementación de tecnologías inmersivas orientadas a potenciar el modelo BIM. Las herramientas de RA y la RV fueron utilizadas para interactuar con el caso de estudio de manera intuitiva, sin necesidad de conocimientos técnicos especializados. Estas tecnologías ofrecen un gran potencial para múltiples fines: educativos, recreativos, turísticos o de gestión del museo.

Por ejemplo, en el caso concreto, realidad aumentada ofrece una diversidad de aplicaciones que fueron ensayadas en esta investigación: a) RA como herramienta para la coordinación espacial: permite visualizar propuestas proyectuales superpuestas al entorno real, facilitando la evaluación in situ de decisiones de diseño e involucrando al público en el proceso, promoviendo una democratización del espacio museográfico; b) RA aplicada a



Fig. 4: Enriquecimiento del modelo BIM con información sobre la implantación de la obra en el entorno a partir del relevamiento aerofotogramétrico.

la gestión del mantenimiento: al proyectar sobre el espacio físico información técnica de los elementos constructivos y expositivos, facilita su identificación, ubicación y diagnóstico, mejorando la toma de decisiones operativas [IMMERSIA, 2024];

c) RA como experiencia lúdica e inmersiva: permite recorrer el museo mediante una interfaz híbrida, donde realidad física y virtual se integran, potenciando la interacción y el vínculo emocional con la obra arquitectónica.

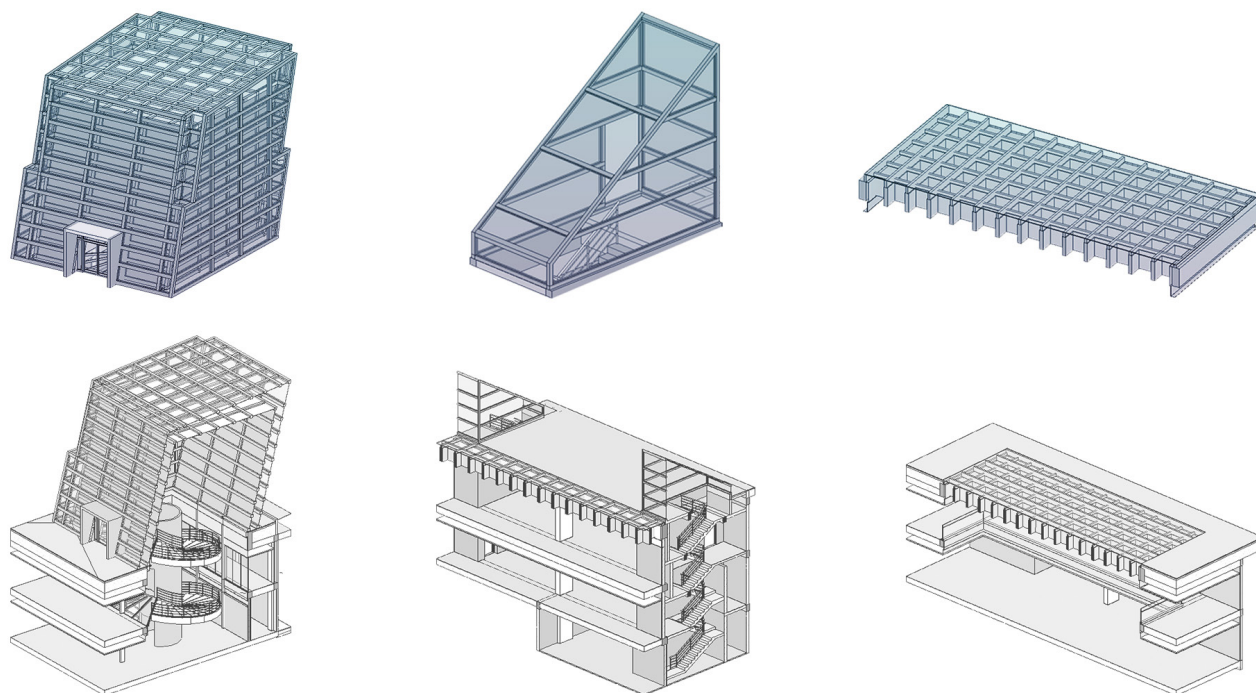


Fig. 5: Elementos significativos del modelo BIM modelados con mayor nivel de detalle: el cubo deformado del ingreso al museo compuesto por una doble piel; núcleo de circulación vertical secundaria; cubierta acristalada del hall central.

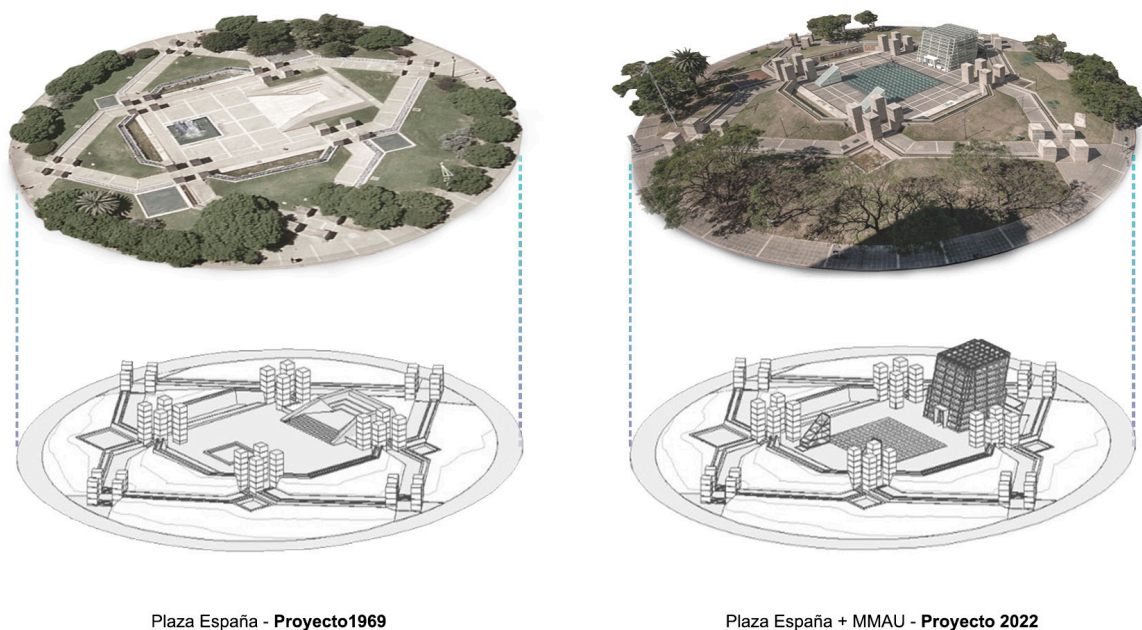


Fig. 6: Incorporación de la 'historia' de la plaza al modelo BIM: proyecto original del 1969 (imagen izquierda) y última intervención del 2022 (imagen derecha).

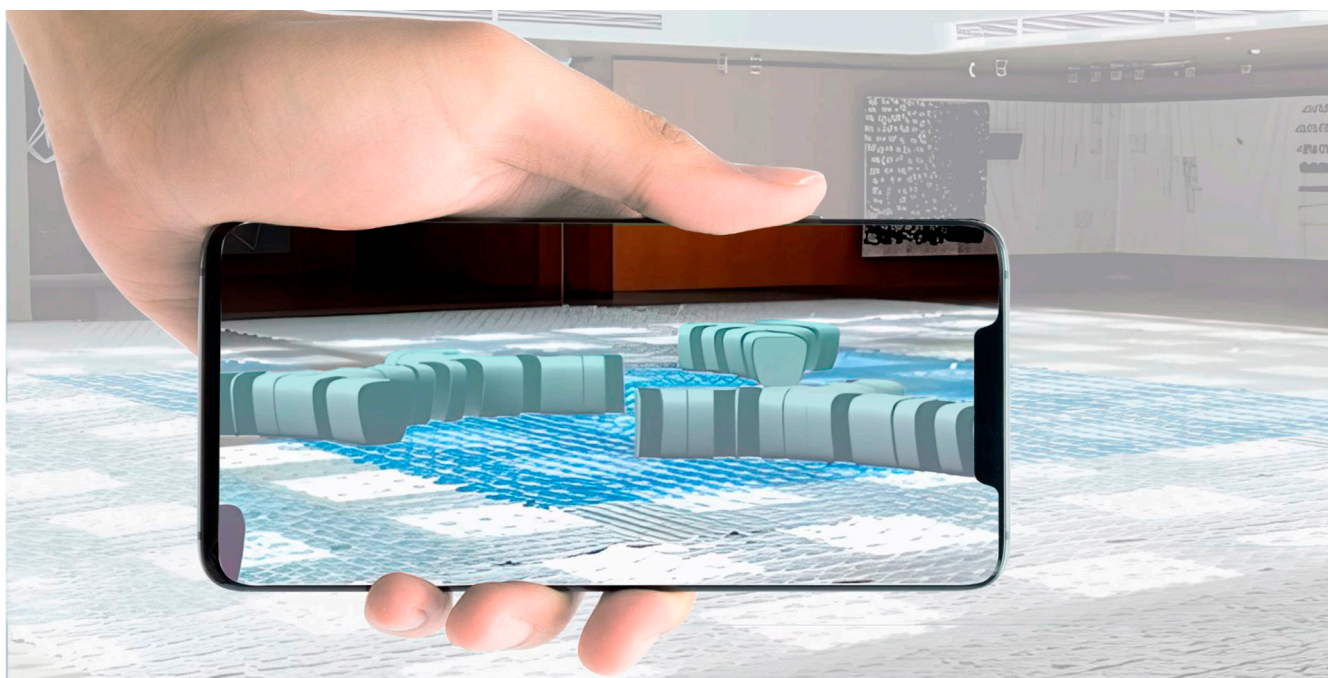


Fig. 7: RA como herramienta complementaria al modelo BIM para la gestión de los espacios.

Un caso práctico de RA orientado a la coordinación espacial fue desarrollado en colaboración con el equipo del museo de MMAU. A partir del modelo BIM, se diseñó un espacio de permanencia y encuentro en el corazón del museo. Luego, utilizando la aplicación Augin, se superpuso la propuesta mobiliaria sobre el entorno real. Esta experiencia permitió evaluar en tiempo real la espacialidad resultante, identificar conflictos y explorar alternativas con agilidad y precisión (Fig. 7).

En cuanto a los entornos virtuales, se aprovecharon plataformas gratuitas como Autodesk Viewer, que permite cargar modelos de Revit, visualizarlos en primera persona y orbitarlos como en una simulación de videojuego. Esta herramienta presenta importantes ventajas para la gestión museal, entre las cuales se destacan: la posibilidad de acceder al modelo 3D y a planos sin conocimientos previos en software BIM; la incorporación de comentarios, marcas y anotaciones colaborativas, que favorecen la comunicación entre equipos de trabajo; y una interfaz intuitiva que permite medir, localizar e identificar elementos con sus datos técnicos, directamente vinculados al modelo BIM.

Consideraciones y desarrollos futuros

Los modelos BIM operan como núcleo estructural de una plataforma interactiva multinivel, concebida para articular contenidos técnicos, históricos y narrativos de manera integrada. Esta plataforma, desarrollada bajo principios de interoperabilidad, accesibilidad y sostenibilidad, está pensada

para ser implementada en formato web y dirigida a una audiencia amplia y diversa: estudiantes, investigadores, profesionales y ciudadanos en general [Giovannini, 2023].

En este marco, herramientas como Autodesk Viewer se consolidan como soluciones eficaces para la visualización, la colaboración remota y la toma de decisiones en tiempo real. Su capacidad para operar sin requerimientos técnicos avanzados, junto con sus funciones de anotación, medición e inspección de datos vinculados al modelo BIM, refuerzan su utilidad en contextos museales y patrimoniales, contribuyendo a una gestión más precisa del activo físico y minimizando los márgenes de error.

La integración de modelos BIM con entornos híbridos e inmersivos —como la realidad aumentada y la realidad virtual— no solo enriquece la experiencia museística, sino que también facilita el acceso inclusivo a la cultura, estimula la participación ciudadana y habilita nuevas dinámicas colaborativas entre equipos interdisciplinarios. Este enfoque promueve una gestión patrimonial más eficiente, sostenible y alineada con las exigencias tecnológicas contemporáneas.

El proyecto propone una evolución metodológica que resignifica al BIM: de ser una herramienta técnica de representación y gestión, se transforma en una infraestructura cultural [Parrinello, 2023; Piras, 2024]. Esta reconversión permite vincular el análisis arquitectónico con la conservación activa y la educación patrimonial, explorando la obra de Miguel Ángel Roca desde perspectivas inéditas y construyendo un modelo replicable para la documentación, interpretación y difusión del patrimonio arquitectónico moderno (Fig. 8).



Fig. 8: Apropiación por parte de la comunidad de Plaza España y el Museo Metropolitano de Arte Urbano.

Referencias

Barba, S., Fiani, M., Di Benedetto, A., Limongiello, M., & Sanseverino, A. (2021). Metodologie per i rilievi della rete di infrastrutture con tecniche di telerilevamento attivo e passivo. In S. Aversa & D. Guida (Eds.), *Metodologie per la valutazione puntuale del rischio idrogeologico in aree fortemente antropizzate e strumenti per le strategie di sviluppo regionale* (pp. 37–48). Napoli: UniorPress.

Bonacini, E. (2014). La realtà aumentata e le app culturali in Italia: storie da un matrimonio in mobilità. *Il capitale culturale. Studi su valore e patrimonio culturale*.

Bortot, A., & Paolo, B. (2020). BIM a scala urbana, ricerche, analisi e interazione tra dati per l'organismo Venezia. In *Mappe. Architetture, Cinema, Cartografie, Immagini del presente* (pp. 260–273).

Brusaporci, S., Maiezza, P., & Tata, A. (2018). A framework for architectural heritage HBIM semantization and development. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives XLII*, 179–184. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-179-2018>

Christillin, E., & Greco, C. (2021). *Le memorie del futuro. Musei e ricerca*. Torino: Giulio Einaudi Editore.

Ferreya, C., Sanseverino, A., & Di Filippo, A. (2021). Image-based elaborations to improve the HBIM

level of development. *Dienne Building Information Modeling, Data & Semantics*, 8. ISSN: 2610-8755.

Ferreya, C., Sanseverino, A., & Ferraris, V. (2024). Transformative architecture: Plaza España and the role of digitalization in valorising and promoting urban heritage. In *EdA, Esempi di Architettura*. ISBN: 979-12-218-1558-0. ISSN: 2384-9576.

Giovannini, E. C., Lo Turco, M., & Tomalini, A. (2023). BACK TO THE PAST. Narrative and storytelling learning in a digital modeling reconstruction process. In *Lecture Notes in Networks and Systems* (pp. 120–130). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-25906-7_14

Hess, M., & Ferreya, C. (2021). Recording and comparing historic garden architecture: Value of SLAM-based recording for research on cultural landscapes in connection with heritage conservation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives XLVI-M-1-2021*, 301–308.

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-301-2021>

IMMERSIA. (2024). Mejorando la comprensión de procesos a través de entornos tridimensionales con realidad virtual y realidad aumentada.

Retrieved from <https://immersia.eu/mejorando-la-comprension-de-procesos-a-traves-de-en->

tornos-tridimensionales-con-realidad-virtual-y-realidad-aumentada/

Lo Turco, M., Giovannini, E. C., & Tomalini, A. (2022). Parametric and visual programming BIM applied to museums, linking container and content. *ISPRS International Journal of Geoinformation*, 11(7), 411.

<https://doi.org/10.3390/ijgi11070411>

Parrinello, S., Sanseverino, A., & Fu, H. (2023). HBIM modelling for the architectural valorisation via a maintenance digital eco-system. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 48, 1157–1164.

<https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLVII-I-M-2-2023-1157-2023>

Piras, G., Agostinelli, S., & Muzi, F. (2024). Digital twin framework for built environment: A review of key enablers. *Energies (Basel)*, 17, 436.

<https://doi.org/10.3390/en17020436>

Russo, M. (2021). AR in the architecture domain: State of the art. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11.

<https://doi.org/10.3390/app11156800>

Roca, M. A. (2024). *Plaza España. Miguel Angel Roca*. Retrieved from <https://www.miguelangelroca.com.ar/copia-de-plaza-españa>

Sammartano, G., Previtali, M., & Banfi, F. (2021). Parametric generation in HBIM workflows for SLAM-based data: Discussing expectations on suitability and accuracy. In *9th Arqueológica 2.0 & 3rd Geores* (pp. 374–388). Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain).

<https://doi.org/10.4995/Arqueologica9.2021.12155>

Wehmeier, C., Artopoulos, G., La Russa, F., & Santagati, C. (2022). Scan-to-AR: From reality-capture to participatory design supported by AR. *10.3280/oa-845-c238*.

SCAN TO BIM - DEL ESCANEEO AL MODELO DIGITAL

Scan to BIM – From Laser Scanning to Digital Modeling

Authors

Natalia Pirazzini¹, Andres Jerez¹, German Mata¹

¹ Universidad Nacional de Córdoba

Email

natalia.pirazzini@gmail.com
andrescor2000@gmail.com
arq.gmata@gmail.com

Keywords

BIM
DIGITAL MODELING
LASER SCANNING
SCAN TO BIM

Abstract

En esta presentación analizaremos los Métodos actuales para Realizar un proceso que va desde el Escaneo de un Edificio hasta la Creación de un modelo Digital que represente el estado actual del mismo.

Recorreremos las etapas con las cuales trabajamos en cada proyecto. Desde el inicio: trabajo de campo, procesamiento de datos y generación de Nube de puntos. Nos focalizaremos en la generación del Modelo Digital, analizando la presencia humana con ayuda de programas que optimizan el proceso.

This paper analyzes the current methods for performing a process that ranges from scanning a building to creating a digital model that represents its current state. Going through the stages in each project, starting from the beginning: fieldwork, data processing, and point cloud generation. Focus will be the generation of a digital model, analyzing human presence with the help of softwares that optimize the process.

Introducción

En el Mercado actual de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) BIM (Building Information Modeling) se ha convertido en una práctica casi obligada para optimizar procesos. Los métodos tradicionales de relevamiento para poder representar un Edificio "Conforme a obra" o "As Built" demandaban de una cantidad de tiempo excesiva y por lo general el objeto final siempre requería de una visación última, ya que el proceso se realizaba de manera manual.

Hoy la Tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) colabora en la optimización del proceso reduciendo los tiempos significativamente, así como también el margen de error.

Etapas

Trabajo de Campo

La primera tarea es elegir qué tipo de escáner será necesario utilizar según el tamaño del edificio u objeto o la finalidad del escaneo.

En un proyecto BIM de relevamiento (o escaneo para modelado existente), elegir el tipo de escáner depende de varios factores: la escala, nivel de detalle (LOD), precisión requerida, tipo de espacio (interior/exterior), presupuesto y tiempo disponible

Los tipos principales son:

1. Escáner Láser Terrestre (TLS – Terrestrial Laser Scanner)
 - Tecnología: LiDAR (Light Detection and Ranging) estático.
 - Uso: Escaneos de alta precisión para edificios, infraestructuras, patrimonio.
 - Ventajas:
 - Alta densidad de puntos.
 - Precisión milimétrica (± 2 mm).
 - Ideal para interiores complejos y exteriores.
 - Equipos comunes: Leica RTC360, Faro Focus, Trimble X7.
 - Cuando elegirlo:
 - Proyecto grande o mediano.
 - Se requiere alta precisión (LOD 300-400).
 - Se necesitan planos detallados de arquitectura, estructura, MEP.
2. Escáner Láser Móvil (MLS – Mobile Laser Scanner)
 - Tecnología: LiDAR montado en mochila, vehículo o carrito.
 - Uso: Corredores largos (hospitales, aeropuertos, ciudades, túneles), edificios de baja complejidad arquitectónica (Oficinas).
 - Ventajas:
 - Rapidez de captura.
 - Cobertura de grandes áreas en poco tiempo.

- Equipos comunes: Leica Pegasus, NavVis VLX.
 - Cuando elegirlo:
 - Proyecto de gran extensión lineal.
 - Se sacrifica algo de precisión por velocidad.
3. Escaneo con Drones (Aéreo – UAV + LiDAR o Fotogrametría)
 - Tecnología:
 - LiDAR aéreo para relevamientos más precisos.
 - Fotogrametría (cámaras) para modelado visual.
 - Uso: Grandes extensiones exteriores (terrenos, cubiertas, zonas rurales).
 - Ventajas:
 - Acceso a zonas peligrosas o inaccesibles.
 - Ideal para modelado topográfico, fachadas, cubiertas.
 - Equipos comunes: DJI Matrice + LiDAR Zenmuse L1, Phantom 4 RTK (fotogrametría).
 - Cuando elegirlo:
 - Proyecto exterior.
 - Se necesita como complemento de otro escaneo que no resulto satisfactorio o completo.
 4. Escaneo con Cámaras 360° o Dispositivos SLAM Económicos
 - Tecnología: Captura rápida con cámaras 360° o dispositivos con SLAM básico (Simultaneous Localization and Mapping).
 - Uso: Levantamientos rápidos para documentación preliminar.
 - Ventajas:
 - Económico y rápido.
 - Suficiente para modelados básicos (LOD 100-200).
 - Equipos comunes: Matterport Pro3, Insta360, Leica BLK2GO.
 - Cuando elegirlo:
 - Proyecto pequeño o de mediana complejidad.
 - Se requiere solo documentación visual o aproximada.

Procesamiento de Datos

Captura de datos (Campo)

Luego de la información relevada por el escaneo, se generan nubes de puntos crudas (archivos con millones de coordenadas + color). Normalmente cada sesión de escaneo genera varios archivos separados

Registro y alineación de nubes

Se registran (alinean y fusionan) las diferentes nubes de puntos en un único sistema de coordenadas.

Se corrigen errores de posición (posibles movimientos entre tomas)

Limpieza y filtrado de nube

Se elimina ruidos (información innecesaria para el proyecto, como pueden ser árboles, personas, recortar zonas irrelevantes, delimitación)

Generación del Modelo

Algunas variables a la hora de comenzar el modelo

Objetivo de la creación del Modelo Final: Obtener planos conforme a obra, pudiendo generar toda la Información gráfica necesaria, utilizarlo como base de futuras remodelaciones o para mantenimiento y catálogo de sus componentes.

Selección del tipo de Software a utilizar: Construir un modelo de Revit, en 3D, puede tener sus beneficios a corto y largo Plazo por sobre otras elecciones,

comparativamente como ejemplo realizar planos en Autocad en 2D.

La colaboración de equipos es la parte más interesante ya que en simultáneo pueden trabajar varios usuarios haciendo los tiempos de producción más cortos. Hoy Bim 360 es la plataforma de colaboración más efectiva en el mercado que provee Autodesk.

Selección del tipo de Softwares de soporte para la generación del Modelo: Muchos como PointFuse (Autodesk) PointSense (Faro) Edgewise. Colaboran y simplifican la tarea en la obtención del Producto Final. Hay que tener presente que la tarea de control de calidad es necesaria ya que no siempre interpretan la información que trae la Nube de puntos de manera correcta.

El LOD (Levels of Development): El Nivel de Desarrollo es importante definirlo a priori junto con el Alcance de trabajo para estimar el tiempo y el nivel de detalle que deberemos incluir en nuestro Modelo (Fig. 1).

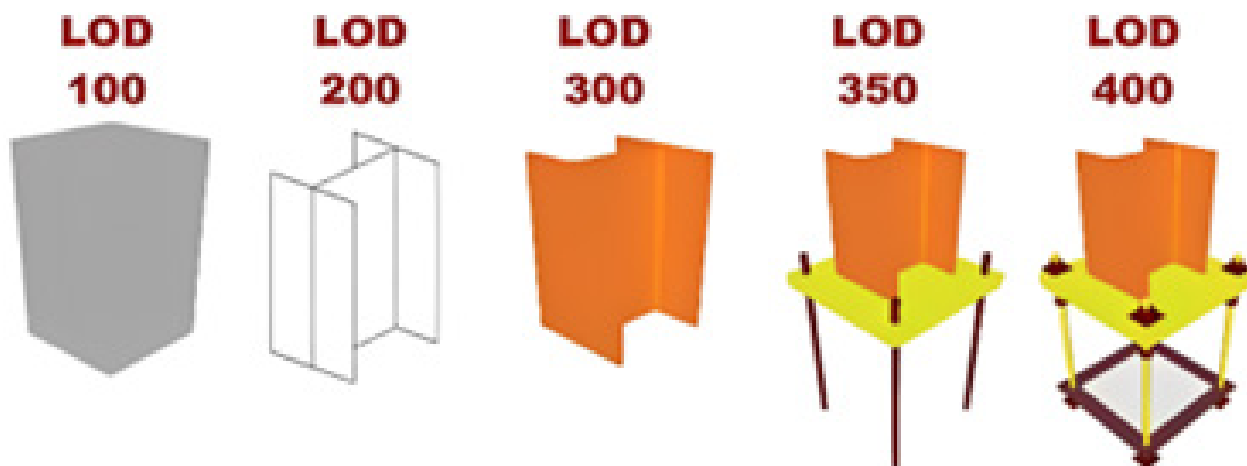


Fig. 1: Level of Detail.

Ejemplos de proyectos

Caso de estudio: Auditorio Universitario

Ubicado en un edificio declarado monumento histórico nacional, es considerado la joya de la corona del campus de dicha universidad, debido a lo detallado y profuso de su decoración interior (Fig. 2).

Puestos a realizar un modelo LOD300 que diera cuenta de sus materiales y sus elementos decorativos se descartó el uso de software de apoyo como los antes mencionados (PointFuse, PointSense, Edgewise) ya que los mismos son incapaces de dar cuenta de la complejidad de los elementos que componen este auditorio, bóvedas, cielorrasos, carpinterías, etc.

Todo el modelado se hizo en forma manual, se crearon familias in situ siguiendo la geometría relevada por la nube, siempre constatando el nivel de

detalle de los elementos decorativos, cuya complejidad podría consumir mucho tiempo.

Otro aspecto para tener en consideración al momento de encarar trabajos con edificios patrimoniales es el nivel de deformación debido al paso del tiempo de sus componentes, vigas, suelos, muros, todos pueden sufrir deformaciones a lo largo de los años, será un aspecto para considerar, teniendo en cuenta el uso que se le dará al modelo, el nivel de fidelidad del modelado con la realidad.

Esto principalmente sucede en los edificios con estructura de madera, la imposibilidad de las herramientas de Revit para modelar vigas con deflexión por ejemplo podría obligar a usar familias in situ, para dar cuenta del estado real de las mismas.

En este caso el modelo se limitó al interior de la sala, se utilizaron familias genéricas para las butacas cuyo

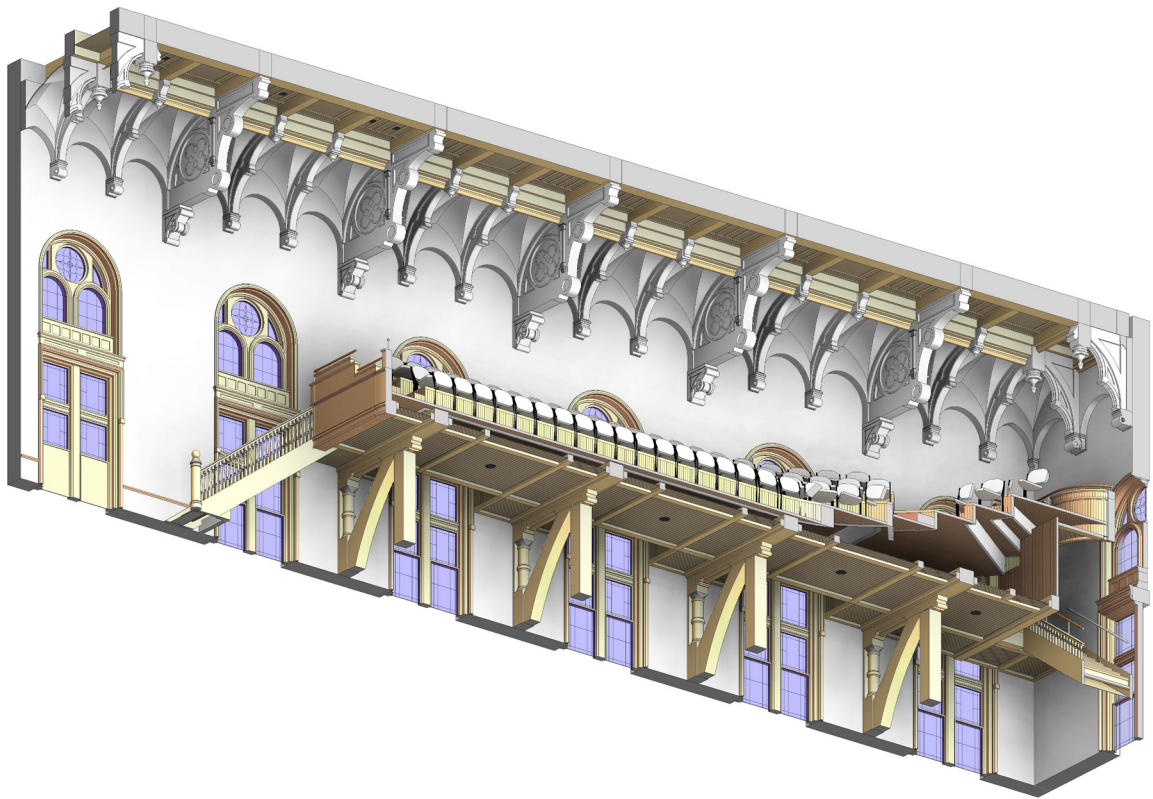


Fig. 2: Procedimiento de Scan to BIM para el Auditorio Universitario.

diseño no era importante, se concentró el esfuerzo en los detalles del cielorraso, y en el diseño de las carpinterías, como así también los elementos estructurales que dan sostén al balcón de la sala (Fig. 3).

Caso de estudio: calle con fachadas patrimoniales

En este caso la parte más importante en lo relativo al modelado era la fachada de una serie de lotes patrimoniales, se debía mostrar los elementos arquitectónicos con un importante nivel de detalle, esto abarcaba varios estilos y diferentes materiales. (Fig. 3)

El área abarcada era de un par de manzanas, se trabajó con un archivo del sitio, con las calles y diferentes archivos enlazados con grupos de dos o tres edificios cada uno, conformando la totalidad de las manzanas.

Los interiores de los lotes fueron modelados con elementos genéricos ya que solo se precisaba de un nivel de detalle LOD200 en interiores.

En estos casos es importante que todas las nubes tengan el mismo punto de inserción, para que al enlazarlo al archivo del sitio aparezcan en ubicación correcta sin colisionar con los otros modelos (Fig. 4).

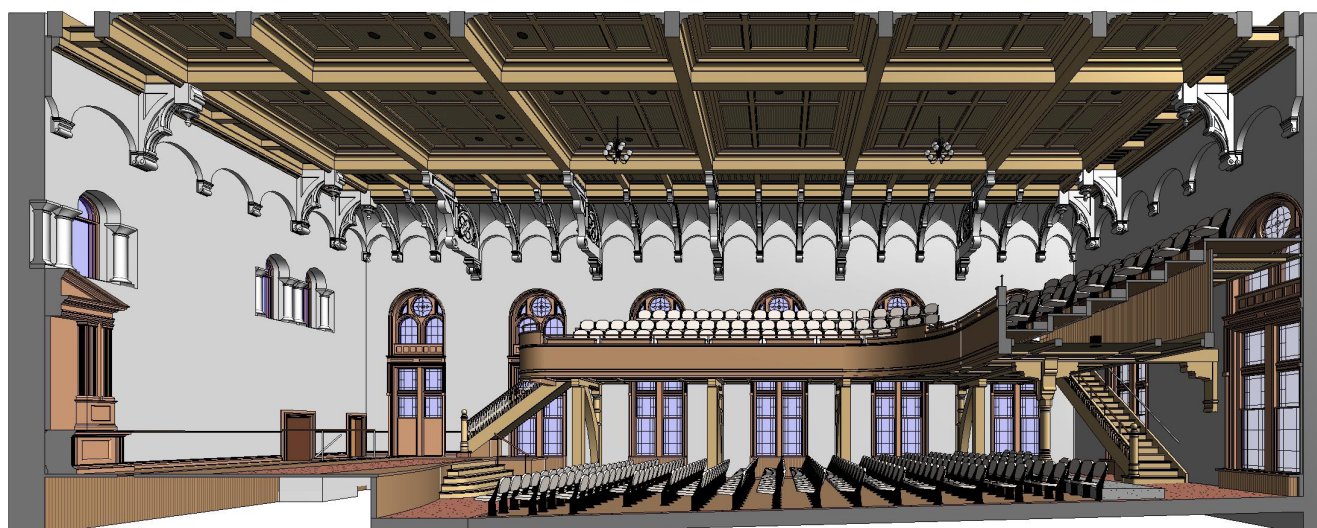
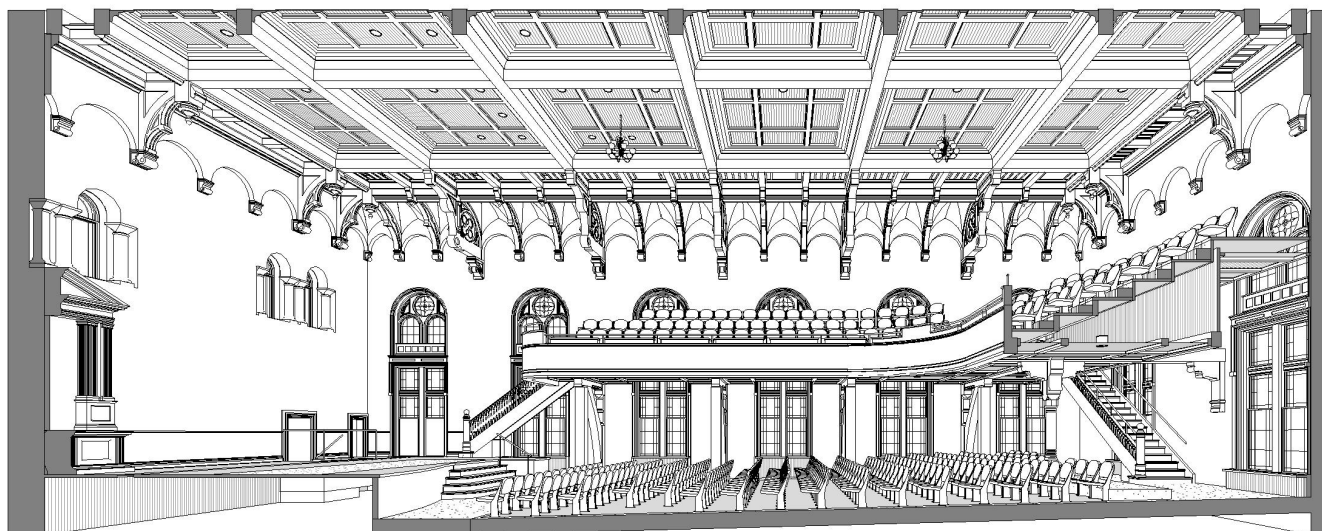


Fig. 3: Visualización monocromática y en color del modelo informado paramétrico



Fig. 4: Procedimiento de Scan to BIM para la calle con fachadas patrimoniales.

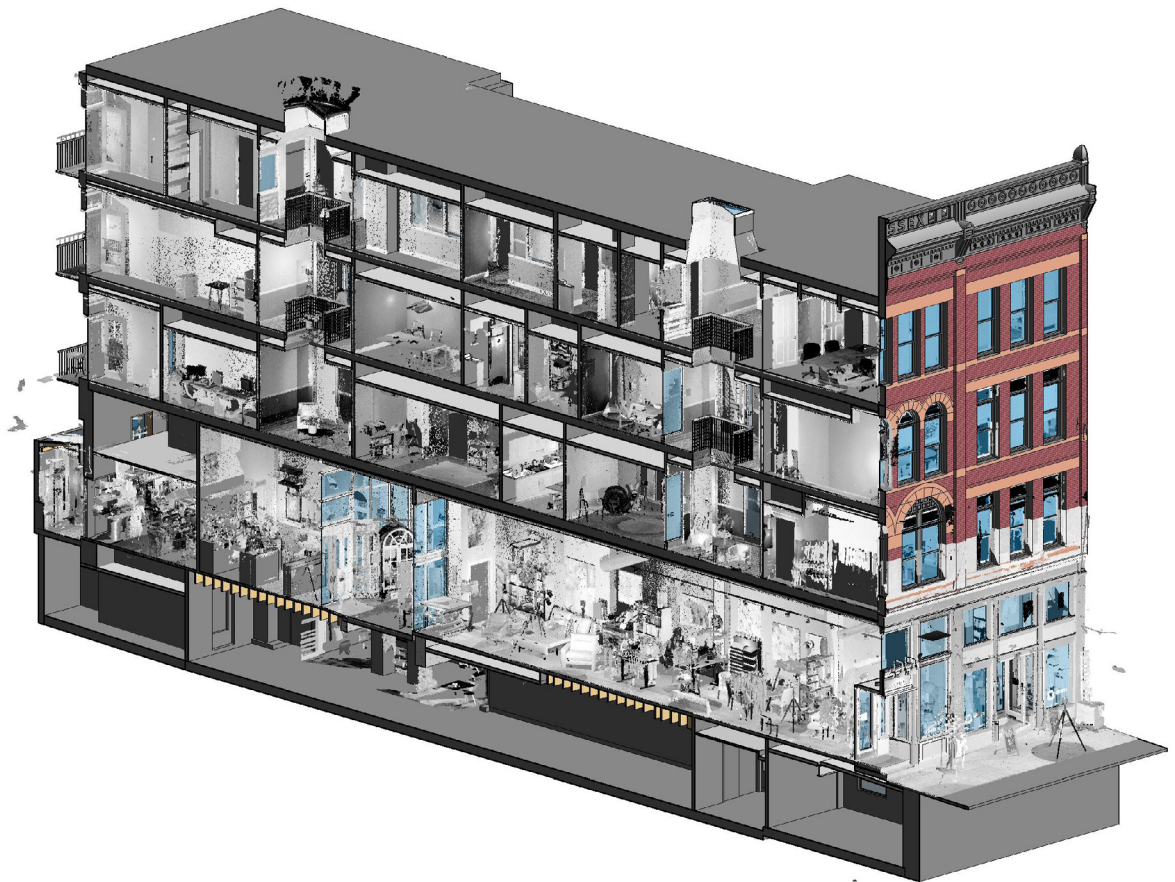
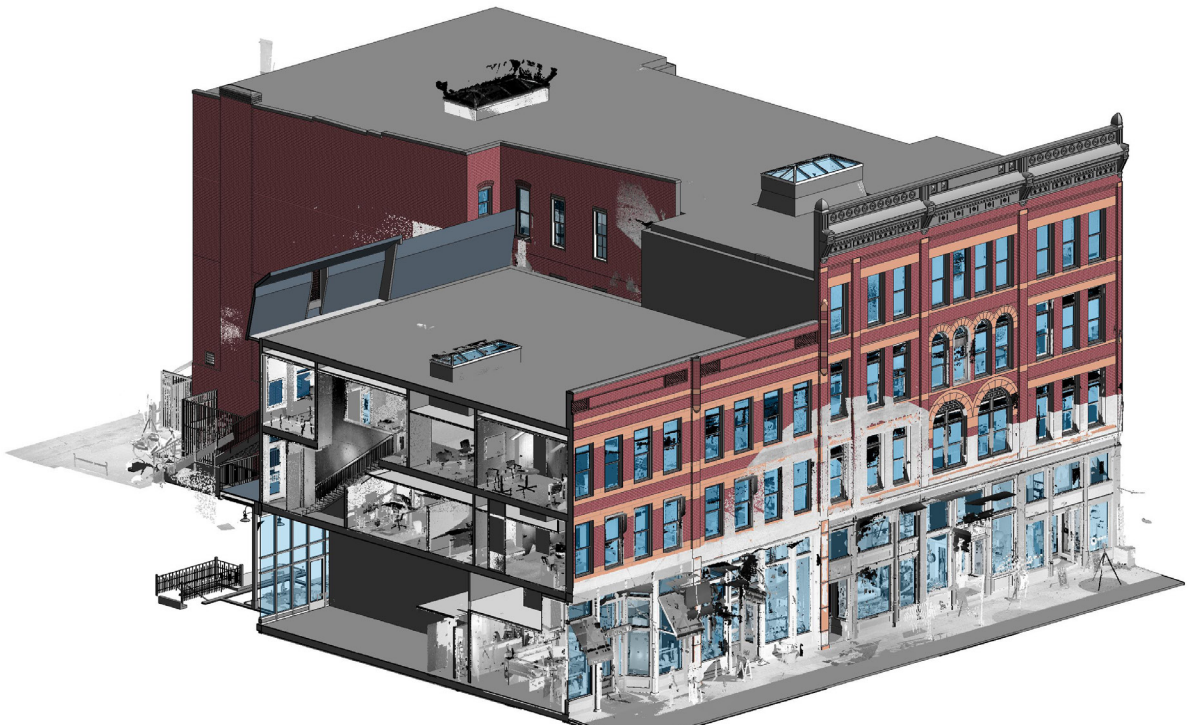


Fig. 5: Cortadas transversales del edificio donde se evidencia la aplicación del método Scan to BIM.

UNA NUOVA LETTURA DELL'ORDINE DORICO DI PALAZZO BARBERINI: IL BIM PER L'ESPLORAZIONE DELLE VARIAZIONI PROGETTUALI

A new perspective on the Doric order of Palazzo Barberini: BIM for investigating design variations

Authors

Esterletizia Pompeo

Sapienza Università di Roma, Dipartimento Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

Email

esterletizia.pompeo@uniroma1.it

Keywords

HBIM
PALAZZO BARBERINI
DORIC ORDER
PARAMETRIC DESIGN
CULTURAL HERITAGE

Abstract

Lo studio presenta un'indagine svolta nell'ambito del Dottorato in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, focalizzata sull'ordine dorico della facciata di Palazzo Barberini. Attraverso rilievo digitale, modellazione 3D e metodologia BIM, sono state analizzate le relazioni tra proporzioni canoniche e variazioni progettuali. L'approccio interdisciplinare ha consentito di ricostruire criticamente l'ordine, dando spiegazione di ipotesi sollevate dagli studi bibliografici e iconografici.

The study presents a research project carried out as part of a PhD in History, Design and Restoration of Architecture, focusing on the Doric order of Palazzo Barberini's façade. Using digital surveying, 3D modelling and BIM methodology, the relationships between canonical proportions and design variations were analysed. The interdisciplinary approach made it possible to critically reconstruct the order, providing explanations for hypotheses raised by bibliographic and iconographic studies.

Il presente contributo si propone di illustrare una ricerca legata alle attività formative svolte durante il primo anno del Dottorato di Ricerca in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, curriculum Disegno, presso l'università Sapienza Università di Roma. Lo studio ha permesso di confrontarsi su più ambiti della rappresentazione quali l'uso delle tecnologie digitali per il rilievo, la modellazione 3D applicata al patrimonio architettonico, con particolare attenzione al *Building Information Modeling* (BIM), e la geometria descrittiva. Attraverso gli strumenti e le metodologie specifici di ogni settore è stato possibile tradurre nel linguaggio digitale della modellazione matematica e parametrica l'insieme di conoscenze legato al tema di indagine, mettendo a sistema, in una lettura critica, le relazioni esistenti tra i valori immateriali e materiali. Nello specifico la metodologia BIM è stata veicolo non solo per la descrizione di una condizione esistente, ma anche per la ricostruzione di un progetto ideale mai costruito, mettendo lo studioso nell'ottica di provare a comprendere alcune insolite scelte progettuali rilevate.

L'oggetto indagato è Palazzo Barberini a Roma, e nello specifico l'ordine dorico della facciata che introduce al cannocchiale prospettico al piano terreno. Le analisi in seguito descritte fanno dunque parte di una ricerca più ampia sull'edificio, noto per essere stato ampliato da Carlo Maderno, Francesco Borromini e Gian Lorenzo Bernini tra il 1625 e il 1633 e attualmente sede della Galleria Nazionale Barberini Corsini [Magnanimi, 1983; Letarouilly, 1992].

L'interesse per questo particolare elemento architettonico nasce da alcune osservazioni derivate dalla messa a sistema delle informazioni di carattere bibliografico, iconografico e metrico-proporzionale. Il primo ordine della facciata, quello dorico, doveva infatti attestarsi sulla quota fissa del piano nobile, data dalla preesistente ala Sforza del palazzo [Magnanimi, 1983; Cherubini, 2010; Brigante Colonna, 1951; Camerota & Fagiolo, 2023; Cherubini, 2010; Thelen, 1967; Mochi Onori et al. 2007]. Per rispettare i vincoli architettonici, si era creata dunque l'esigenza di operare delle variazioni proporzionali rispetto ai canoni imposti della trattatistica. Oltre alle fonti archivistiche, nei disegni progettuali attribuiti a Francesco Borromini, e conservati presso la Biblioteca Albertina, sono evidenti le annotazioni per la definizione delle proporzioni architettoniche dell'ordine e la segnalazione delle scelte compositive discusse con Carlo Maderno.

L'ordine architettonico si presta all'inserimento all'interno dell'ambiente parametrico dei BIM *modeler* per la natura di interdipendenza gerarchica tra le singole parti che lo compongono [Rossi, 2019a; Rossi, 2019b]. Si è scelto dunque di utilizzare tale linguaggio per la rappresentazione e l'interpretazione critica delle anomalie progettuali rispetto al sistema di conoscenze architettoniche coeve.

La costruzione del modello parametrico si è basata su un confronto costante tra le ricerche bibliografiche e iconografiche, i trattati di riferimento per l'architetto e il dato di rilievo strumentale integrato [Cundari, 2015; Docci & Chiavoni, 1992]. Data l'importanza dell'accuratezza metrica sono state eseguite battute con *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) e prese fotogrammetriche¹, consolidando e validando poi il modello numerico derivato da acquisizione massiva mediante battuta topografica. Tutte le scansioni e le fotografie eseguite sono state pianificate con una risoluzione dei punti sufficiente per le analisi successive da eseguire sugli elaborati alla scala architettonica. Il parametro da controllare preventivamente in questo caso è stato il calcolo della *Ground Sampling Distance*.

Sugli elaborati bidimensionali di restituzione del rilievo sono state impostate tutte le successive analisi aventi l'obiettivo di indagare la genesi formale dell'ordine dorico (Fig. 1). La metodologia adottata ha previsto un avvicinamento progressivo all'opera architettonica [Chiavoni et al. 2017], procedendo dal generale, inteso sia come visione d'insieme dell'ordine architettonico che come quadro conoscitivo complessivo, al particolare, ovvero l'analisi delle singole modanature nella specifica declinazione progettuale di Palazzo Barberini. Il costante confronto tra i diversi dati raccolti (bibliografia, i disegni progettuali attribuiti a Borromini, la trattatistica architettonica di riferimento, il rilievo) ha permesso di escludere progressivamente le ipotesi non supportate da riscontri documentali o materiali. Una volta individuato un modello ideale — inteso come sintesi ricostruttiva fondata sulle analisi critiche condotte — si è proceduto alla ricostruzione dell'ordine in forma sia matematica che parametrica. L'intento era quello di verificare quale aspetto avrebbe potuto assumere la facciata qualora fossero stati rigorosamente applicati i canoni proporzionali espressi nel trattato identificato come riferimento, offrendo così una lettura critica delle variazioni progettuali attuate (Fig. 2).

In quest'ottica, l'utilizzo di un ambiente BIM si è rivelato particolarmente adatto non solo per modellare parametricamente l'ordine dorico secondo le sue proporzioni canoniche, ma anche per raccogliere e strutturare l'intero sistema informativo a supporto delle scelte di modellazione e delle osservazioni critiche emerse. Il controllo del modello parametrico, rispetto alla modellazione canonica, non è stato affidato alla misura astratta del modulo [Serlio, 1537;

1_ Gli strumenti operativi per realizzare il rilevamento sono stati i seguenti: stazione totale Leica TCR 805 ultra; prisma topografico; *Laser Scanner* Faro Focus m70; fotocamera Nikon D800E con ottiche 50mm, 105mm e 200mm; X-rite *color-checker* formato *Passport*. A supporto di questa strumentazione sono state adoperate anche le seguenti fotocamere: Nikon D5100; Nikon D3500; Olympus OMD-EM10 mark III.

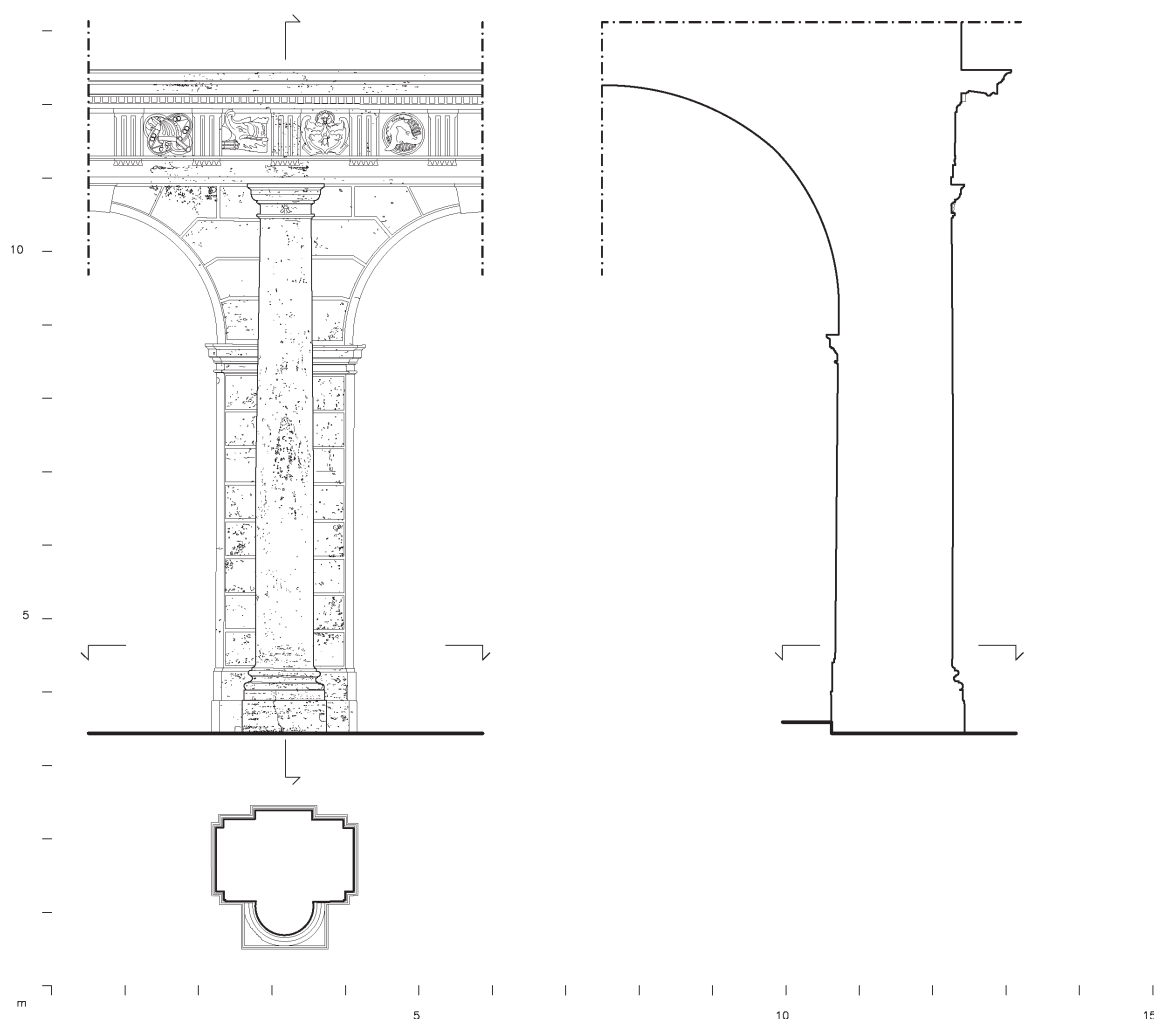


Fig. 1: Elaborati di rilievo dell'ordine dorico, scala 1:50.

Barozzi da Vignola, 1562; Palladio 1570; Sanmicheli, 1785; Boidi-Trotti, 1922; Migliari, 1991], valore adimensionale che tradizionalmente governa la composizione dell'ordine, bensì al numero effettivo di moduli presenti nelle singole parti, introducendo un criterio di confronto più aderente alla realtà costruita.

L'analisi attenta dell'ordine dorico, attraverso la progressiva scomposizione delle parti secondo le dieci linee [Migliari, 1991; Docci & Migliari, 1992], ha rappresentato il fulcro dello studio, senza cui non si sarebbero potuti impostare i due modelli tridimensionali realizzati: uno matematico ideale, e uno parametrico. Il sistema decorativo presente nella trabeazione si è scelto di modellarlo tramite l'elaborazione di mesh ottenute dalla fotogrammetria, restituendo con maggiore fedeltà i dettagli plastici dell'ordine (Fig. 3).

Primo passaggio per lo studio proporzionale è l'individuazione del modulo, inteso come nei trattati come semidiametro della colonna, notando che rientra in totale ventuno volte come nelle proporzioni di Palladio. Nonostante la scansione delle singole

modanature delle modanature fosse simile al trattato di Vignola, le proporzioni totali hanno richiesto di verificare che la divisione in trenta minuti [Palladio 1570] non avesse corrispondenza, prima di validare l'ipotesi che effettivamente la suddivisione dell'ordine segua la scansione proporzionale nonostante le variazioni generali del numero di moduli (Fig. 4).

Si prosegue dunque con la suddivisione di ogni modulo in dodici parti confrontando le proporzioni di ogni singola modanatura su altezze e sporti indicati nei trattati, ed evidenziando ogni caso che avesse proporzione diversa. È importante segnalare che di fatto si tratta per la maggior parte di piccolissime differenze che quindi potrebbero anche essere dovute alla puntualità delle analisi, che ci si riserva di espandere (Fig. 5 - Fig. 7). Si deduce dunque che le proporzioni generali rispecchino Palladio, nonostante sia più probabile l'aumento di moduli del fusto a sostegno delle necessità dimensionali imposte dalla preesistenza. Il trattato che si presta a riferimento per la proporzioni delle singole parti e la tipologia di modanature è quello scritto da Vignola.



Fig. 2: Metodologia applicata per lo studio della genesi dell'ordine.



Fig. 3: Inserimento dell'apparato decorativo nel modello.

È possibile dunque procedere con la realizzazione del modello matematico integrandolo con il modello mesh dell'apparato decorativo ricavato da fotogrammetria. Sulla base delle analisi proporzionali la colonna dell'ordine è stata parametrizzata all'interno di un BIM *modeler* in una famiglia nidificata di pilastro architettonico. Rispetto ai processi di parametrizzazione diffusi [Rossi, 2019; Aubin 2013] in cui i parametri sono tutti gerarchicamente legati al modulo, nel caso di Palazzo Barberini il discrimine è dato invece dal numero di moduli. La singola colonna di ordine dorico di Palazzo Barberini appartiene ad un sistema di arcate tuscaniche inscritte in esso, che è stato modellato per completare al fine di ottenere una lettura più ampia e contestualizzata del sistema architettonico, valorizzandone l'unitarietà compositiva.

Il confronto critico tra lo stato attuale dell'ordine e l'ipotetica morfologia pienamente conforme alle proporzioni di riferimento descritte nel trattato di Vignola, identificato come riferimento compositivo, ha fatto emergere l'intenzionalità di modificare specifiche parti dell'ordine. In tal modo la facciata sarebbe apparsa nell'insieme più coerente e coesa considerando i vincoli dimensionali presenti: le variazioni delle proporzioni del fusto e dell'architrave hanno permesso la coesistenza armonica dell'ordine dorico trabeato e delle arcate a tutto sesto inquadrare (Fig. 8).

Il contributo evidenzia come le tecnologie digitali di rilievo e modellazione, integrate con la conoscenza teorica della trattatistica architettonica, rappresentino uno strumento fondamentale per la comprensione, la conservazione e la valorizzazione del

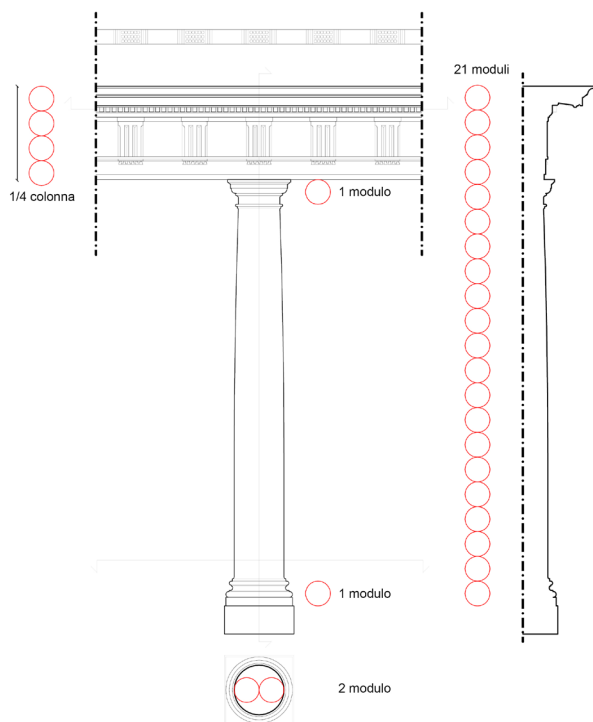


Fig. 4: Analisi delle proporzioni generali dell'ordine.

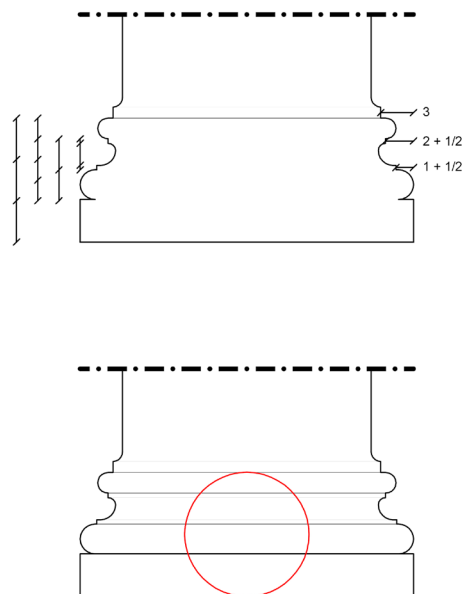


Fig. 5: Analisi proporzionale della base dell'ordine.

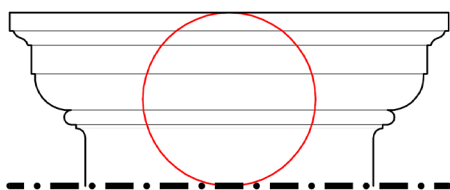


Fig. 6: Analisi proporzionale del capitello dell'ordine.

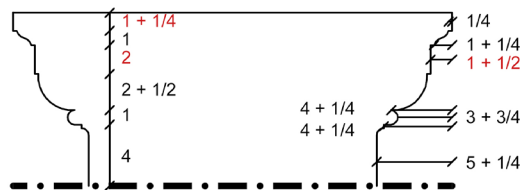


Fig. 7: Analisi proporzionale della trabeazione dell'ordine.

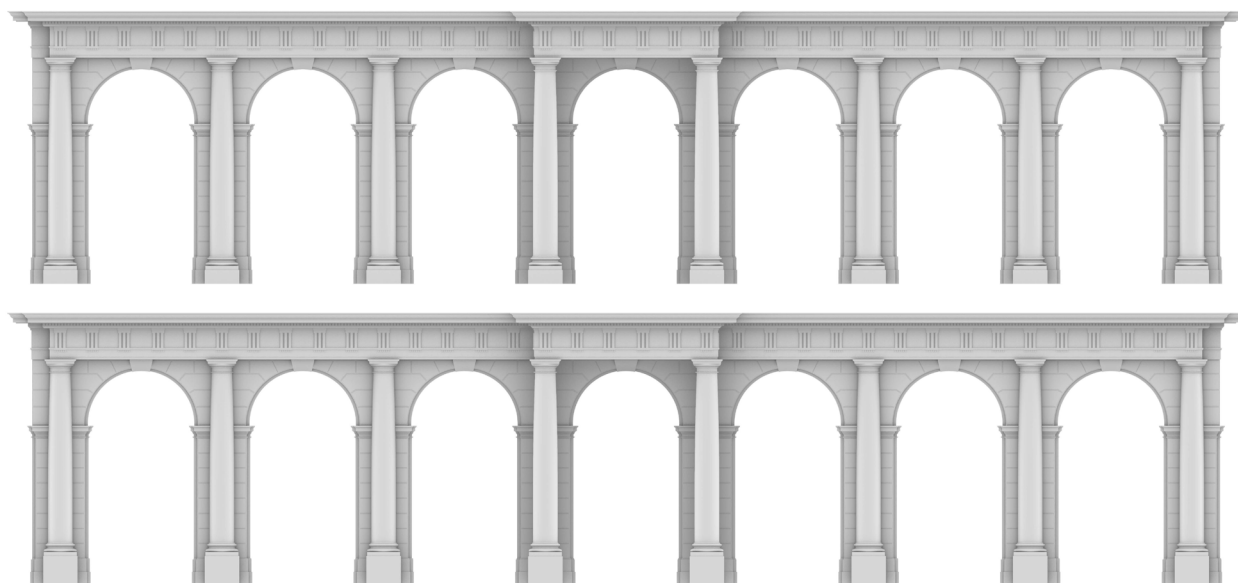


Fig. 8: Confronto critico tra il modello reale e il modello con l'ordine secondo le proporzioni del Vignola

patrimonio. Il caso di Palazzo Barberini, grazie alla sua complessità formale e alla qualità architettonica, si è rivelato un terreno particolarmente fertile per indagare la relazione tra dato reale e modello ideale, tra percezione e misura, tra forma e significato.

Attraverso l'integrazione delle metodologie tradizionali con strumenti avanzati di rappresentazione digitale e BIM, il progetto dimostra il valore dell'approccio interdisciplinare per lo studio dell'architettura storica. L'analisi proporzionale, la restituzione tridimensionale e la modellazione parametrica, oltre a rappresentare strumenti conoscitivi, assumono un ruolo centrale nella trasmissione del sapere architettonico, rendendo accessibili e navigabili forme complesse e processi progettuali altrimenti difficilmente decifrabili.

Bibliografia

Aubin, P. F. (2013). *Renaissance Revit: Creating classical architecture with modern software*.

Barozzi da Vignola, J. (1562). *Regola delli cinque ordini d'architettura*. Roma.

Boidi-Trotti, G.A. (1922). *I cinque ordini del Vignola*. Torino.

Brigante Colonna, G. (1951). *Palazzo Barberini*. Roma: Associazione bancaria italiana.

Camerota, F., & Fagiolo, M. (Eds.). (2023). *La città del Sole: Arte barocca e pensiero scientifico nella Roma di Urbano VIII*. Roma: Edizioni Museo Galileo.

Cherubini, L. C. (Ed.). (2010). *Palazzo Barberini: L'architettura ritrovata*. Bari.

Chiavoni, E., Diacodimitri, A., & Pettoello, G. (2017). *Un'analisi attraverso il disegno dell'architettura moderna e contemporanea più significativa a Roma. Conoscenza, documentazione e comunicazione dei valori materiali e immateriali tramite sistemi grafici tradizionali e digitali integrati*. Ariccia (Roma): Aracne Editrice int.le S.r.l.

Cundari, C. (2015). *Il rilievo architettonico: Ragioni, fondamenti, applicazioni*. Ariccia (Roma): Ermes, edizioni scientifiche.

Docci, M., & Migliari, R. (1992). *Scienza della rappresentazione: Fondamenti e applicazioni*.

della geometria descrittiva. Roma: NIS; Roma: Carocci, 1998.

Docci, M., & Chiavoni, E. (2017). *Saper leggere l'architettura*. Bari-Roma: Gius. Laterza e Figli Spa.

Letarouilly, P. (1992). *Edifices de Rome modernes*. Novara: Istituto geografico De Agostini.

Magnanini, G. (1983). *Palazzo Barberini*. Roma: Editalia – Roma.

Migliari, R. (1991). *Il disegno degli ordini e il rilievo dell'architettura classica: Cinque Pezzi Facili*. Disegnare idee immagini, 2, 1–12. Roma.

Mochi Onori, L., Shutze, S., & Solinas, F. (Eds.). (2007). *I Barberini e la cultura europea del Seicento*. Roma: De Luca.

Palladio, A. (1570). *I quattro libri dell'architettura – Libro I*. Venezia.

Sanmicheli, M. (1785). *I cinque ordini dell'architettura civile*. Verona.

Rossi, M. L. (2019a). *Algoritmi generativi per i modelli del patrimonio culturale*. Tesi di dottorato.

Rossi, M. L. (2019b). *Algoritmi generativi ed innesti Cinquecenteschi: Genesi proto-parametrica del Loggiato Rinascimentale*. In *41° Convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione - UID2019* (pp. 985–996). Perugia.

Serlio, S. (1537). *I sette libri dell'architettura – Libro IV*. Venezia.

Thelen, H. (1967). *Francesco Borromini die Handzeichnungen*. Graz: Akademische Druck.

DEL RITO AL DATO: UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA MUTACIÓN DIGITAL DEL PATRIMONIO SACRO

From the Rite to the Data: A methodological
proposal for Digital mutation of the sacred heritage

Authors

Juan Cruz Reyes^{1, 2}

¹ Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño; Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

² Università degli Studi di Salerno, Italia

Email

juan.reyes@mi.unc.edu.ar - j.reyes@studenti.unisa.it

Keywords

RELIEF
DIGITIZATION
METHODOLOGY
MODELLING
HERITAGE

Abstract

Este estudio presenta una metodología innovadora para la documentación y conservación de la arquitectura patrimonial sacra, mediante la creación de un modelo digital integral y accesible. A través del uso de tecnologías avanzadas como la fotogrametría aérea y el escaneo láser, se generaron modelos tridimensionales de estructuras complejas, como iglesias y campanarios. La metodología, adaptable y replicable, permite una gestión eficiente y colaborativa del patrimonio, mejorando su conservación y divulgación, al tiempo que promueve su integración en paradigmas digitales contemporáneos.

This paper presents an innovative methodology for the documentation and conservation of sacred architectural heritage through the creation of an integral and accessible digital model. Using advanced technologies such as aerial photogrammetry and laser scanning, 3D models of complex structures, such as churches and bell towers, were generated. The methodology, adaptable and replicable, enables efficient and collaborative heritage management, enhancing its conservation and dissemination, while promoting its integration into contemporary digital paradigms.

Introducción

Este proceso metodológico tiene como objetivo brindar una herramienta de apoyo a lo construido, su ensayo y puesta en práctica. Se aplicó a la arquitectura patrimonial sacra para verificar su efectividad. La propuesta consiste en un Modelo Digital reproducible, accesible e interdisciplinario, que sirva como base informativa para futuras intervenciones de protección, gestión y conservación, integrando el patrimonio en lenguajes y paradigmas digitales.

Estado del Arte

Esta propuesta surge a partir de la necesidad de contar con documentación actualizada de los tres casos de estudio en cuestión, cada uno con requerimientos específicos tales como restauración, consolidación, mantenimiento y futuras intervenciones.

La información disponible hasta el momento resultaba considerablemente escasa, compuesta principalmente por documentos y bocetos elaborados de forma manual, producto de relevamientos puntuales o cuadernos de obra que incluían cómputos y presupuestos. En muchos casos, esta documentación carecía de una cronología organizada, lo que compromete su fiabilidad y dificulta su análisis.

Frente a esta situación, se vuelve imprescindible generar documentación precisa, actualizada y sistematizada, que no solo permita reconocer el estado actual del bien patrimonial, sino que además facilite la creación de una base informativa integral. Esta base deberá reunir, estructurar y representar gráficamente los datos, con el fin de optimizar los procesos de diagnóstico, planificación y toma de decisiones en intervenciones futuras.

Objetivos y Aplicaciones

Estos objetivos pueden alcanzarse mediante una investigación detallada de los procesos gráficos que permiten profundizar en el conocimiento del patrimonio, incorporando de manera eficaz herramientas y métodos innovadores dentro de la propuesta gráfica. Esta integración busca posicionar al bien en una perspectiva global y multidisciplinaria, con especial énfasis en su protección y conservación.

Es ampliamente reconocido que el análisis y la digitalización de un objeto patrimonial complejo requieren un enfoque metodológico avanzado [Letellier, 2007; Luhmann et al., 2006], capaz de abordar diversos aspectos históricos, morfológicos, tecnológicos y simbólicos. Esta premisa ha constituido el fundamento de la propuesta metodológica de este estudio, cuyo objetivo es organizar y estructurar la información recopilada, orientando las acciones hacia

la protección y divulgación del objeto investigado, al tiempo que se garantiza un alto nivel de precisión en los procesos y resultados obtenidos.

Metodología y Primeros Resultados

Para el Caso N.º 1 y el Caso N.º 2, el primer paso consistió en el reconocimiento de los objetos en cuestión. Debido a las distintas adversidades y realidades contextuales, se definieron métodos y niveles de relevamiento diferenciados.

La elección de la metodología aplicada y de las herramientas utilizadas estuvo determinada por diversos factores, entre los cuales se destacan:

- Aspectos Morfológicos: las dimensiones, proporciones y relaciones entre los vacíos y los llenos requieren una medición detallada y precisa
- Aspectos Contextuales: la ubicación de los objetos a relevar, presentaban grandes dificultades para acceder a los mismos, debido a su altura, esbeltez y consecuentemente encontrarse exentos físicamente de posibles lugares de trabajo para los técnicos en relevamiento
- Recursos a Disposición: el proceso, los resultados y el nivel de definición de un relevamiento está fuertemente ligado a esta condición, por lo tanto, influirá directamente en la decisión del proceso a llevar a cabo

Caso n°1: Iglesia del Sagrado Corazón de Jesús (Córdoba-Argentina); Metodología de Relevamiento adoptada: fotogrametría aérea con Drone. Año 2022 (Fig. 1).

Caso n°2: Parroquia Nuestra Señora del Montserrat (Colonia Caroya-Córdoba); Metodología de Relevamiento adoptada: fotogrametría aérea con Drone para el Exterior y Medición Laser en el interior. Año 2023 (Fig. 2).

Caso n°3: Campanario de la Catedral de Salerno (Salerno-Italia); Metodología de Relevamiento adoptada: fotogrametría aérea con Drone para el reconocimiento exterior, Sistema de Referencia Externa GCP con Targets y GPS, y por último un Scanner laser GeoSLAM para el reconocimiento interno. Año 2024 (Fig. 3).

Una vez finalizado el proceso de relevamiento para cada uno de los casos, se procedió al tratamiento y procesamiento de los datos obtenidos. De esta manera, se generaron las respectivas nubes de puntos mediante el software *Agisoft Metashape*, aplicando el procedimiento *Structure from Motion* (SfM).

"...Es posible extraer puntos homólogos entre imágenes contiguas, las cuales se utilizan para resolver el problema de la orientación interno y externo. Este proceso se basa en las ecuaciones de la fotogrametría clásica, conocidas como ecuaciones



Fig. 1: Resultados del Proceso fotogramétrico realizado en el Caso n°1 – Iglesia del Sagrado Corazón de Jesús, Los Capuchinos (Córdoba-Argentina), Año 2022. Autor: REYES, Juan Cruz

de colinealidad, que son resueltas mediante estas técnicas de cálculo1...”

Este enfoque permitió obtener un primer resultado parcial del proceso, evidenciando la complejidad geométrica, morfológica y colorimétrica del objeto relevado en formato digital, con un alto nivel de detalle y fidelidad.

Discusiones y un Nuevo Paradigma

En el marco del nuevo paradigma que plantea la metodología BIM como un lenguaje de comunicación universal para la arquitectura, la incorporación del patrimonio arquitectónico —y en particular de la arquitectura religiosa— requiere un estudio profundo y detallado. Esto se debe no solo a su complejidad geométrica y espacial, sino también a las características inherentes de edificaciones que, en muchos casos, cuentan con cientos o incluso miles de años de antigüedad.

Las imperfecciones forman parte esencial de la naturaleza de estos bienes, ya sea como resultado del paso del tiempo, de los distintos períodos constructivos superpuestos, de intervenciones de reconstrucción o de procesos de conservación. A partir de esta reflexión, surgen una serie de interrogantes fundamentales que orientan el enfoque metodológico y conceptual del trabajo:

- ¿Cómo hacemos para introducir un edificio natural y lógicamente imperfecto, en un software que, de base, no admite imperfecciones?
- Al momento de la modelación, ¿Cuáles son los parámetros o referencias que el proyectista o técnico en relevamiento debe tomar en consideración para transpolar los datos relevados? ¿Debe ser algo estandarizado o queda a decisión de él?
- ¿Qué nivel de fiabilidad podemos tener sobre un modelo, para tomarlo como base o referencia?

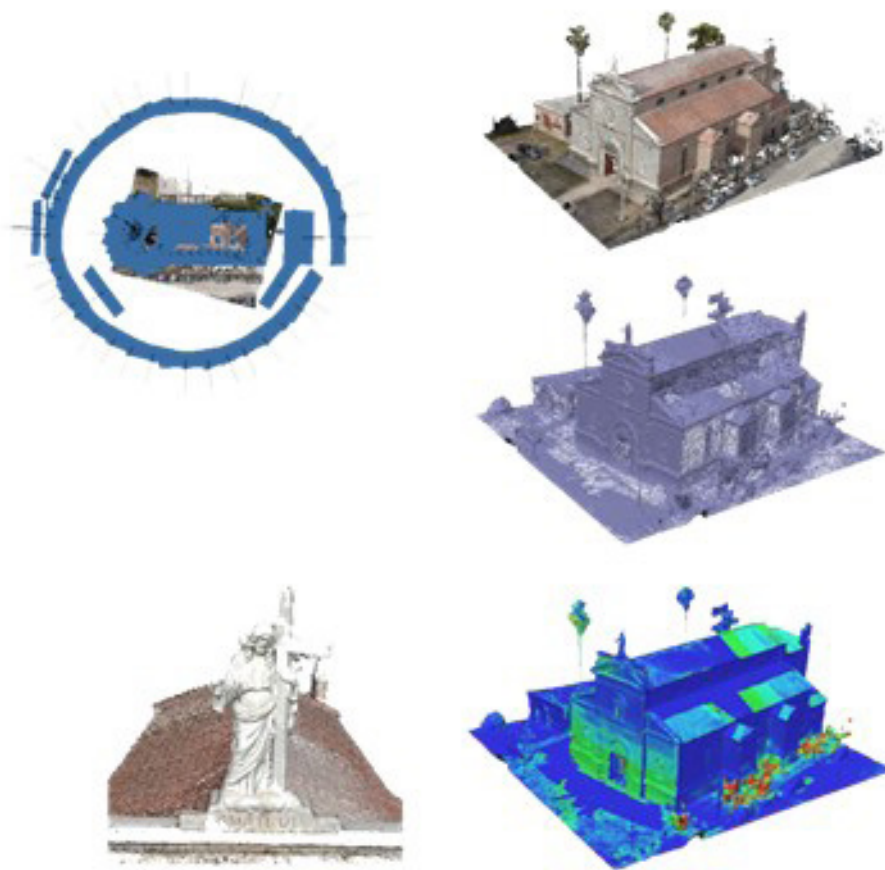


Fig. 2: Resultados del Proceso fotogramétrico realizado en el Caso n°2 – Parroquia Nuestra Señora del Montserrat (Colonia Caroya-Córdoba), Año 2023. Autor: REYES, Juan Cruz



Fig. 3: Resultados del Proceso fotogramétrico realizado en el Caso n°3 – Catedral de Salerno; relevamiento realizado como objeto de estudio del Curso de Rilievo del año académico 2023/2024-UNISA (Salerno-Italia), Año 2024. Autor: REYES, Juan Cruz

De este modo, y en respuesta a los interrogantes previamente planteados, se continuó con el desarrollo del Caso N.º 3: el Campanario de la Catedral de Salerno. Este ejemplo fue abordado en el marco de mi Tesis de Grado y *Laurea Magistrale*, gracias al convenio de doble titulación vigente entre la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina) y la Università degli Studi di Salerno (Italia).

La elección de la Catedral de Salerno no fue casual, sino que se inscribe en un acuerdo institucional entre el Dipartimento di Ingegneria Civile de la universidad italiana y la Arquidiócesis de Salerno-Campagna-Acerno, como parte de una estrategia más amplia orientada a la valorización del patrimonio histórico-artístico de la Catedral.

Cabe destacar que las actividades estuvieron coordinadas por el Laboratorio *Modelli – Surveying and Geo-Mapping for Environment and Cultural Heritage* (DICIV), el cual proporcionó equipamiento de vanguardia, conocimientos consolidados en documentación y valorización del patrimonio arquitectónico y urbano, así como también un equipo humano altamente calificado que permitió llevar adelante este trabajo de tesis.

El objetivo principal se centró en la digitalización y puesta en valor del patrimonio. Como conclusión preliminar, puede afirmarse que se amplió significativamente el nivel de reconocimiento del objeto patrimonial en este caso, al tiempo que se fortalecieron sus posibilidades de gestión. Así mismo, se generó una base informativa confiable, susceptible

de ser utilizada como punto de partida para futuras investigaciones, desarrollos interdisciplinarios y proyectos de intervención.

La estructura central de esta tesis se enfoca en el desarrollo de una metodología de trabajo para el relevamiento y la gestión del patrimonio construido (Fig. 4). Esta base metodológica, diseñada para ser adaptable, modificable y replicable [Barba et al., 2020; Dore & Murphy, 2012], se compone de un flujo de trabajo articulado en siete etapas. Dicha estructura toma como referencia el enfoque preexistente *Scan to BIM*, al cual se le incorporaron cuatro etapas adicionales, lo que permitió elevar el nivel de precisión y ampliar las capacidades de análisis y gestión del bien patrimonial en el marco de los escenarios tecnológicos actuales.

Flujo de Trabajo de la Base Metodológica

Punto 1 - Búsqueda de Fuentes: adquisición y clasificación de documentos de archivo, bibliográficos e iconográficos que permiten el reconocimiento histórico del bien

Punto 2 - Relevamiento: adquisición de datos mediante tecnologías avanzadas

Punto 3 - Comparación de Datos: Se busca identificar las diferencias entre las fuentes históricas y la información geométrica resultante del relevamiento

Punto 4 - Reelaboración de Datos: Fase de generación de documentos gráficos bidimensionales

Punto 5 - Modelado: Permite comprender su geometría, la relación entre sus partes y vuelve

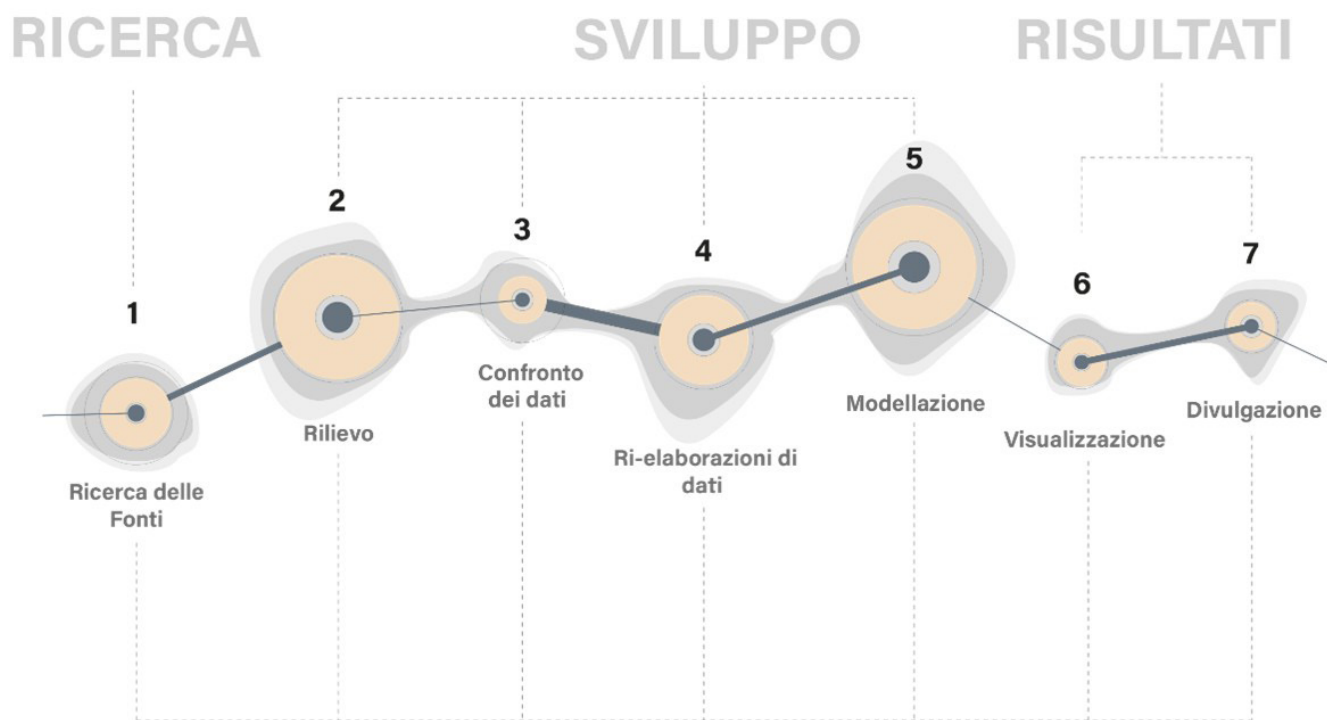


Fig. 4: Base Metodológica Replicable, articulada en 7 fases; resultado del Proceso de Tesis. Autor: REYES, Juan Cruz

comprensible su espacialidad de la Arquitectura y su entorno. En este caso, al trabajarse con BIM, se concibe también el modelado como una Base Informativa Integral Digital

Punto 6 - Visualización: Gracias a los niveles de precisión y detalles utilizados, se abre la base de datos a pares disciplinares para ser utilizada como punto de partida

Punto 7 - Divulgación: Permite mejorar la interacción del Objeto Patrimonial con la comunidad, con el objetivo de que lo apropien de manera tal, garantizando así su salvaguarda a generaciones futuras

De esta manera, y en consonancia con la temática principal de este Congreso, se profundiza en los aspectos abordados en el punto 5 del proceso de Modelación Digital. Una vez que la nube de puntos fue escalada, georreferenciada y exportada, se procedió a la modelación del objeto patrimonial mediante el uso del software *Autodesk Revit*.

En este caso particular, se trabajó con un nivel de precisión milimétrico, adecuado para una escala de detalle 1:50, lo que permitió representar fielmente las complejidades geométricas y morfológicas del bien relevado.

De esta manera, desarrollamos:

- Niveles de Anotación de acuerdo con los requerimientos del proyecto
- Un Sistema de Nomenclatura Interno al archivo para, muros, columnas, molduras y texturas;
- Un elemento "muro" por cada cerramiento, por cada nivel por cada orientación debido a que todos eran diversos
- Se realizó la creación de cada elemento compuesto de cada muro, con sus coeficientes y características físicas
- Se modeló la totalidad del refuerzo estructural en Hormigón Armado
- Se empleó la herramienta fusión a vacío para conformar los vanos de geometrías irregulares
- Se crearon 7 familias paramétricas y 14 elementos columnas, una por cada vano, a causa de la diferencia entre cada una de ellas
- Se modeló la totalidad de la escalera de acceso interna metálica
- Se aplicó a cada vano, la textura correspondiente, obtenidas de las ortofotos del proceso fotogramétrico

Posibles Aplicaciones Futuras

Desde otra perspectiva, esta Base Metodológica Replicable puede ser enmarcada dentro de un esquema más amplio (Fig. 6), en el que se articula con dos componentes clave: una Base Informativa Integral y el Trabajo Colaborativo Multidisciplinar.

La Base Informativa Integral se concibe como un modelo digital (Fig. 5) que actúa como contenedor de

información gráfica, técnica e histórica, recopilada, organizada y gestionada dentro de un único archivo digital en un mismo entorno de software. Esta base constituye el soporte fundamental para una documentación precisa y sistemática del bien patrimonial.

El Trabajo Colaborativo Multidisciplinar se torna esencial considerando el nivel de precisión alcanzado, la diversidad de técnicas y herramientas empleadas, y los óptimos resultados obtenidos. El modelado resultante se nutre así de una riqueza técnica que permite su utilización por distintos actores disciplinares, cuyas contribuciones se detallan a continuación, especialmente en relación con los últimos dos puntos metodológicos:

- 6; Visualización: Este paso pone de manifiesto el valor del reconocimiento detallado de las características del bien arquitectónico, dotando a la metodología de una instancia de consulta, modificación e integración abierta a múltiples disciplinas.

En el caso del Campanario, se estableció un vínculo concreto con sectores afines mediante la difusión del material generado, lo cual permitió analizar el estado actual del bien y proponer diversas estrategias de intervención.

- Desde la perspectiva del Restauero, la restitución gráfica y digital de la materialidad a través de ortofotos fotogramétricas permitió un reconocimiento minucioso del estado superficial de la fachada exterior del campanario, alcanzando un nivel de detalle milimétrico.
- Desde el enfoque estructural, el modelado del refuerzo de hormigón armado —incorporado en intervenciones anteriores para aportar mayor rigidez— proporcionó la base necesaria para la generación de un modelo de análisis estructural mediante el Método de los Elementos Finitos (FEM). Este modelo permite realizar simulaciones ante cargas internas y externas, e identificar zonas críticas de estrés y posibles deformaciones.

- 7; Divulgación: Ampliando lo expuesto anteriormente, este punto tiene como objetivo acercar el patrimonio a la comunidad mediante distintas estrategias y recursos gráficos, fortaleciendo su apropiación, comprensión y transmisión intergeneracional, lo cual resulta esencial para su conservación y salvaguarda.

Estas estrategias están orientadas a fomentar la accesibilidad, la participación cívica, la creación de redes de conocimiento y la colaboración entre instituciones, mediante nuevas modalidades de transferencia de información.

Entre los recursos propuestos se encuentran:

- La creación de un sitio web oficial del bien patrimonial, que funcione como repositorio de información relevante, incluyendo documentos históricos, fotografías,



Fig. 5: Resultado del punto 5 de la Base Metodológica, Modelado BIM. Proceso de Tesis. Autor: REYES, Juan Cruz

relatos, investigaciones y resúmenes de trabajos realizados.

- El desarrollo de recorridos virtuales que permitan el reconocimiento geométrico y espacial del bien sin necesidad de visitarlo físicamente. Esta herramienta resulta especialmente útil cuando el acceso está restringido por razones de seguridad, intervenciones en curso o limitaciones espaciales que impiden el ingreso de personas con movilidad reducida o discapacidad.

En el marco de este último recurso, se trabajó de forma colaborativa con organizaciones especializadas en promover la accesibilidad al patrimonio (Design for All). Como resultado, se desarrolló un prototipo de Panel Multisensorial Informativo para el Campanario del Duomo de Salerno, diseñado bajo criterios de comunicación visual, táctil y auditiva [ICOMOS, 2013].

Este panel multisensorial permite un acercamiento diverso e inclusivo al bien patrimonial. A través de impresión 3D se reprodujeron modelos a escala del campanario, secciones horizontales y verticales, así como un volumen general que representa su relación dimensional con el entorno inmediato. Esto permite a los usuarios comprender su

configuración geométrica, proporciones, altura y relaciones entre llenos y vacíos.

Además, se aplicaron texturas superficiales sobre los modelos para representar los materiales compositivos originales. El panel incluye información en texto gráfico y en sistema Braille, audio-guías mediante parlantes integrados, y un código QR que da acceso a un video informativo con lenguaje de señas, fotografías de archivo y otros contenidos multimedia.

Para su diseño, se respetaron los estándares y recomendaciones establecidos por las organizaciones de accesibilidad, asegurando las dimensiones, alturas, inclinaciones y formatos recomendados según los lineamientos de Design for All.

Conclusiones

Antes de iniciar un proceso de reconocimiento y relevamiento, es fundamental definir con claridad los objetivos a alcanzar. De esta manera, se optimizarán los recursos y esfuerzos invertidos durante el proceso, y se seleccionarán de forma eficiente las técnicas y herramientas más adecuadas, lo cual favorecerá la obtención de resultados óptimos.

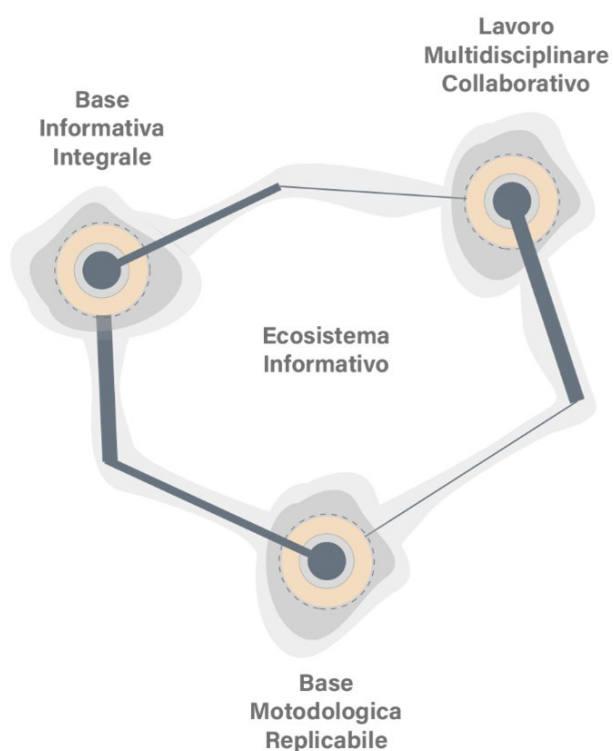


Fig. 6: Macro Esquema del Ecosistema Informativo, articulada en 3 fases; resultado del Proceso de Tesis. Autor: REYES, Juan Cruz

A partir de esta premisa, podemos plantear la hipótesis de que, si la metodología empleada en el Caso N.º 3 se hubiera aplicado también a los dos casos restantes, hoy se contaría con una Base Informativa Integral probablemente más amplia de lo estrictamente requerido por los objetivos iniciales. No obstante, esta amplitud permitiría una gran variedad de aplicaciones y posibilidades en ámbitos tales como el mantenimiento, reconocimiento, gestión, accesibilidad pública y salvaguarda para las futuras generaciones (Fig. 7).

Como se mencionó anteriormente, una de las características principales de esta Base Metodológica es su adaptabilidad y replicabilidad. Por ello, esta hipótesis se formula contando con una serie de resultados previos que permiten identificar con precisión los aspectos que deben modificarse, replicarse o adaptarse para cada caso particular.

De igual importancia, es necesario considerar que cada objeto patrimonial requiere un abordaje profundo y específico en cada fase del proceso, dada su complejidad geométrica, la antigüedad y estratificación de sus materiales compositivos, su evolución histórica y complejidad constructiva, así como la relevancia que posee para la comunidad que lo reconoce como propio. Todas estas condiciones demandan un enfoque metodológico profesional y, sobre todo, multidisciplinar.

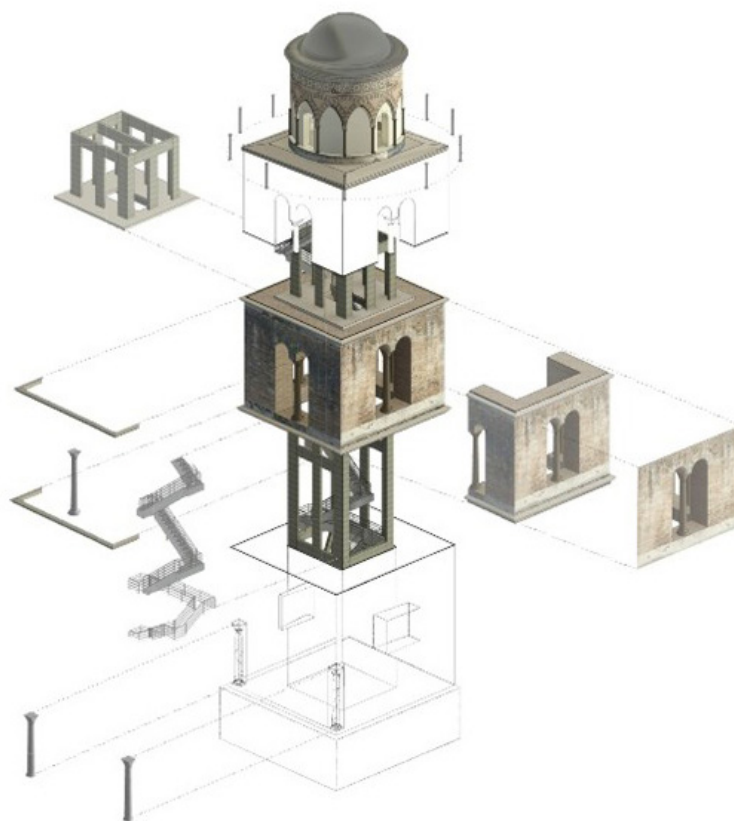


Fig. 7: Despiece axonométrico, parte del resultado del punto n°7 – divulgación – de la Base metodología Propuesta. Año 2025. Autor: REYES, Juan Cruz

Por consiguiente, si los objetivos generales y particulares fueron correctamente definidos, gestionados y ejecutados, los resultados serán los adecuados para garantizar la efectividad y funcionalidad de la Base de Datos generada.

Finalmente, resulta imprescindible comprender la necesidad de articular de manera eficiente un objeto patrimonial con cientos o miles de años, con las nuevas lógicas y paradigmas tecnológicos contemporáneos, durante todas las fases: reconocimiento, análisis, digitalización, gestión, modelación, acercamiento comunitario y salvaguarda.

Bibliografía

1Lab.Modelli Dip. Ing.Edile-UNISA. (n.d.). *Agisoft Metashape*.

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Harley, I. (2006). *Close-range photogrammetry: Principles, techniques and applications*. Whittles Publishing.

Letellier, R. (2007). *Recording, documentation, and information management for the conservation of heritage places*. Getty Conservation Institute.

Barba, S., Barbato, D., Di Filippo, A., Napoletano, R., & Ribera, F. (2020). BIM-oriented modelling and management of structured information for cultural heritage. In L. Agustín-Hernández, A. Vallespín Muñesa, & A. Fernández-Morales (Eds.), *Graphical heritage: EGA 2020* (pp. 630–640). Springer.

Morandotti, M., Parrinello, S., Picchio, F., De Marco, R., Dell'Amico, A., Doria, E., & Galasso, F. (2019). L'Università di Pavia. I cortili e gli ambienti monumentali. Un progetto di documentazione digitale e sviluppo di sistemi di gestione per la manutenzione programmata. In A. Conte & A. Guida (Eds.), *VII Convegno Internazionale ReUSO Matera - Patrimonio in divenire* (pp. 863–874). Gangemi Editore.

Dore, C., & Murphy, M. (2012). Integration of historic building information modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites. *Proceedings of the 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM)*, 369–376.

Alby, E., Grussenmeyer, P., Assali, P., & Landes, T. (2009). Modeling and visualization of heritage buildings: Comparison of techniques and presentation approaches. *Journal of Cultural Heritage*, 10(Supplement), e27–e31.

ICOMOS. (2013). *Principles for the access to heritage sites*. International Council on Monuments and Sites.

MODELLARE IL TEMPO: AMBIENTI BIM PER L'ANALISI DIACRONICA DELL'ARCHITETTURA STORICA

Modeling Time: BIM-Based Environments for the
Diachronic Study of Historical Architecture

Authors

Rebecca Rossi

Università degli Studi di Perugia

Email

rebecca.rossi@dottorandi.unipg.it

Keywords

H-BIM
HISTORICAL
ARCHITECTURE
INFORMATION MODELING
CONSTRUCTION PHASES
DIGITAL REPRESENTATION

Abstract

La ricerca esplora l'uso dell'*H-BIM* come strumento critico per la rappresentazione della stratificazione temporale dell'architettura storica, applicato al caso della chiesa di San Benedetto alla Canapina (Perugia). Il modello, costruito senza rilievi massivi, restituisce le fasi costruttive in chiave relazionale, valorizzando l'incertezza e la dimensione interpretativa come componenti strutturali della conoscenza.

The research investigates the use of H-BIM as a critical tool for representing the temporal stratification of historical architecture, focusing on the case study of the Church of San Benedetto alla Canapina (Perugia). The model, developed without extensive survey data, reconstructs the building's construction phases through a relational approach, highlighting uncertainty and interpretation as integral components of knowledge.

Introduzione

Nel panorama sempre più articolato delle pratiche di rappresentazione digitale applicate all'architettura storica, l'*H-BIM* si configura oggi come uno strumento potenzialmente capace di ospitare non soltanto la geometria e l'informazione tecnica del manufatto [Eastman et al., 2016; Osello, 2012], ma anche quella componente meno visibile e più sottesa che è la storia [Bianconi et al., 2024; Bruno & Roncella, 2018; Parrinello & Picchio, 2023]. Tuttavia, il rischio di una modellazione orientata esclusivamente alla restituzione dello stato di fatto e alla gestione degli oggetti esistenti è ancora fortemente presente [Dore & Murphy, 2017], soprattutto nei contesti in cui la stratificazione, la discontinuità e l'incompletezza del dato rendono la costruzione del modello una sfida aperta e fortemente interpretativa. L'*H-BIM*, se inteso come mero contenitore informativo, rischia infatti di cristallizzare l'edificio in una forma conclusa, restituendo un'immagine che appiattisce la complessità storica e cancella le ambiguità, le lacune e le fasi che, al contrario, costituiscono la sostanza stessa dell'architettura storica.

La ricerca qui presentata si colloca in questo spazio critico e si propone di sperimentare un uso dell'*H-BIM* che non sia finalizzato alla produzione di un modello tridimensionale statico e normato, ma che assuma la stratificazione temporale come principio generatore [Mammoli et al., 2021; Stanga et al., 2023], restituendo un ambiente digitale che racconta non solo lo spazio ma soprattutto il tempo. Il caso studio individuato, la chiesa di San Benedetto alla Canapina, situata nel centro storico di Perugia [Belforti & Mariotti, 1751; Bonazzi & Innamorati, 1959; Fabretti, 1892; Fabretti et al., 1850; Mariotti, 1806; Siepi, 1822], si è rivelato particolarmente adatto a questo tipo di indagine per la sua marginalità, per l'assenza di documentazione diretta e per la sua natura residuale e stratificata. Si tratta di un edificio che si presenta oggi come una struttura abbandonata, dimenticata dal tessuto urbano attuale, ma che conserva nella propria materia e nella propria relazione con la cortina muraria medievale le tracce di una storia articolata, fatta di aggiunte, trasformazioni e dialoghi costanti con il contesto [Bilancia, 1988].

L'obiettivo non è stato dunque quello di costruire un modello geometrico dettagliato, né di gestire informazioni finalizzate a processi operativi standard, ma piuttosto di esplorare la possibilità di rappresentare, attraverso la modellazione informativa, le fasi, le ipotesi, le incertezze e le discontinuità che emergono da una lettura stratigrafica accurata, oltre che da una riflessione critica sulla storia costruttiva dell'edificio. Il lavoro si è quindi strutturato come un processo di progressiva formalizzazione, in cui l'osservazione diretta, la restituzione grafica, la lettura dei rapporti murari e la parametrizzazione

digitale sono stati integrati all'interno di un percorso coerente, capace di produrre un modello in grado di raccontare il tempo, di attivare letture relazionali e di supportare future attività di ricerca, conservazione e valorizzazione.

In questo senso, l'*H-BIM* viene qui inteso non come fine ma come dispositivo critico, uno spazio informativo aperto che permette di rappresentare la complessità senza semplificarla, di restituire il dubbio senza cancellarlo, e di formalizzare un sapere stratificato senza ricorrere a logiche di appiattimento. La modellazione si propone quindi come strumento per interrogare il costruito, per esplorarne la profondità temporale, per rendere esplicite le ipotesi e le scelte interpretative che guidano ogni operazione di rappresentazione.

Metodologia

L'impostazione metodologica adottata in questa ricerca si fonda sull'assunzione preliminare che ogni modello *H-BIM*, debba essere considerato come un prodotto fortemente selettivo, espressione inevitabile di scelte, di priorità e di interpretazioni [Allegra et al., 2020; Brusaporci et al., 2018; Murphy et al., 2013]. In the last 10 years many experimentations have been conducted on BIM application to Architectural Heritage (AHBIM). La costruzione di un ambiente informativo non si risolve nella trascrizione oggettiva dei dati rilevati, ma richiede un lavoro critico di organizzazione, strutturazione e restituzione che incide direttamente sul significato del manufatto così come viene rappresentato [Bianconi et al., 2021]. Per questa ragione, la metodologia seguita si è articolata attraverso un percorso graduale, in cui ogni fase operativa è stata costantemente confrontata con l'esigenza di mantenere il più possibile aperto il processo conoscitivo, senza ridurre la complessità dell'edificio a una sequenza rigida di oggetti tridimensionali standardizzati.

Il percorso metodologico (Fig. 1) si è quindi articolato in due direzioni parallele: da una parte, l'approccio analitico e deduttivo alla lettura stratigrafica; dall'altra, la progressiva costruzione di un sistema parametrico capace di restituire la complessità temporale dell'edificio attraverso la segmentazione e la codifica delle unità murarie.

Approccio analitico e deduttivo: lettura stratigrafica

La lettura stratigrafica ha costituito il fulcro del processo conoscitivo, non come semplice analisi delle murature ma come metodo critico per accedere alla storia costruttiva dell'edificio. L'approccio adottato si è basato su un'osservazione diretta e puntuale, orientata a riconoscere discontinuità materiche, variazioni nelle tessiture, anomalie geometriche e rapporti giacitureali come indicatori delle diverse fasi edilizie.

Methodological workflow

BIM model development and simulation of valorization scenarios

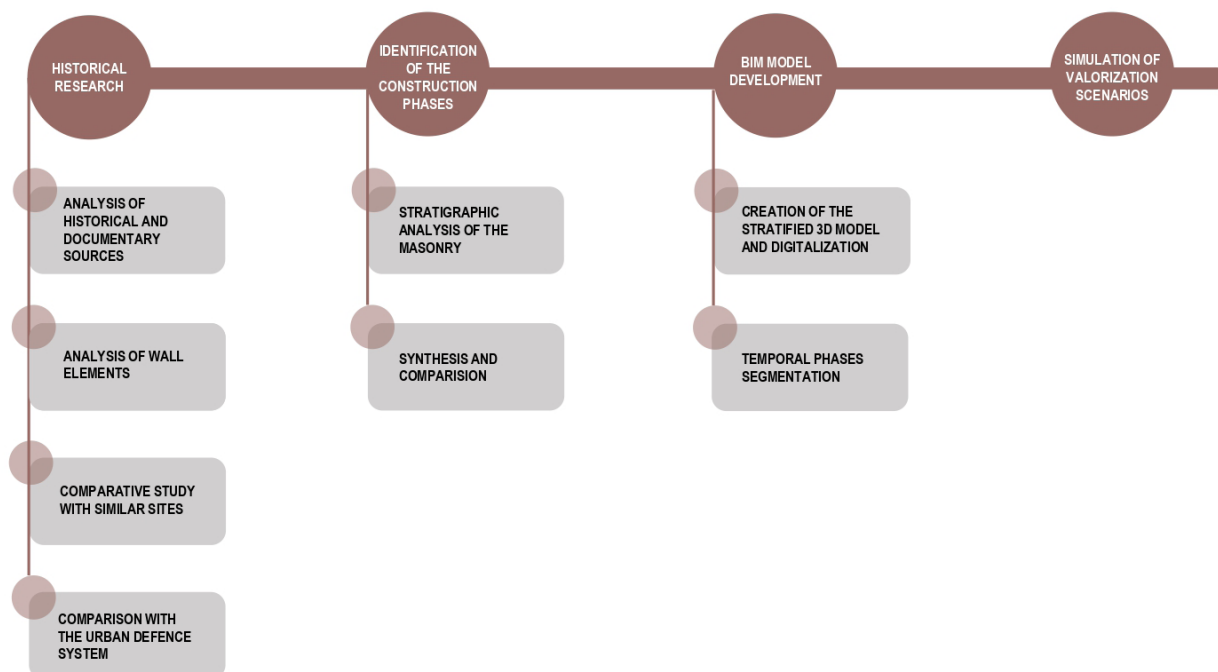


Fig. 1: Workflow metodologico (elaborazione grafica dell'autore).

In assenza di rilievi massivi, il processo si è strutturato su una continua verifica tra il dato rilevato e l'ipotesi interpretativa, con particolare attenzione alla relazione tra la chiesa e la cortina muraria, che si è rivelata centrale per comprendere l'origine dell'edificio. L'ipotesi, fondata su riscontri materici e costruttivi, suggerisce una nascita legata a un intervento di consolidamento del sistema difensivo, successivamente rielaborato in funzione culturale [Bilancia, 2005, 2008, 2020].

La lettura stratigrafica ha guidato la scansione delle fasi, distinguendo nuclei edilizi omogenei e documentando tanto le certezze quanto le zone d'incertezza. L'analisi ha fornito la base per la successiva modellazione *H-BIM*, consentendo di strutturare un modello capace di restituire non solo le trasformazioni avvenute, ma anche il margine di interpretazione insito nel processo di lettura.

Parametrizzazione e segmentazione

La costruzione del modello *H-BIM* si è basata su un processo di segmentazione ragionato, che ha assunto la stratificazione temporale come criterio prioritario di organizzazione del dato. Ogni porzione muraria è stata modellata come entità autonoma, non soltanto per distinguere le geometrie ma

soprattutto per restituire con chiarezza le diverse fasi costruttive e i rapporti di trasformazione tra le parti. La segmentazione ha seguito la logica di suddividere il manufatto in componenti informatiche non astratte, ma direttamente corrispondenti alle unità stratigrafiche rilevate, evitando l'applicazione di famiglie standard e privilegiando una modellazione specifica, costruita ad hoc per il caso di studio.

La parametrizzazione degli oggetti ha previsto l'attribuzione di un sistema informativo personalizzato, organizzato in campi dedicati alla fase costruttiva, alla tecnica muraria, alla relazione con la cortina difensiva, al grado di attendibilità e al livello di incertezza interpretativa. Ogni elemento è stato quindi descritto non solo in termini geometrici ma anche e soprattutto attraverso i parametri storici e stratigrafici che ne determinano il significato all'interno del modello. L'adozione di questi parametri ha permesso di costruire una struttura logica flessibile, interrogabile e capace di restituire non solo lo stato di fatto, ma anche la sequenza evolutiva e le ipotesi interpretative formulate durante la lettura analitica dell'edificio.

Il processo di segmentazione non ha risposto a criteri puramente tecnici o visivi, ma è stato orientato dalla volontà di costruire un modello che fosse,

prima di tutto, uno strumento critico e relazionale. La modellazione ha cercato di preservare la connessione tra l'oggetto digitale e il dato storico, valorizzando la possibilità di attivare filtri interpretativi, di isolare le singole fasi e di rappresentare l'incertezza come parte integrante della conoscenza. In questo modo, il modello si configura come una piattaforma aperta, capace di accogliere nuove informazioni, di essere interrogata secondo diverse chiavi di lettura e di supportare future attività di ricerca, conservazione e valorizzazione.

Sviluppo del modello H-BIM

Il modello *H-BIM* sviluppato per la chiesa di San Benedetto alla Canapina non si configura come una semplice trasposizione tridimensionale del rilievo, ma come l'esito di un processo conoscitivo che ha assunto la dimensione temporale e stratigrafica dell'edificio come struttura portante della rappresentazione. L'impostazione generale ha seguito una logica diacronica, in cui le fasi costruttive sono state formalizzate come livelli distinti ma interrelati, e una logica relazionale, capace di mettere in comunicazione le trasformazioni architettoniche con le loro cause, condizioni e conseguenze (Fig. 2).

A differenza di molti approcci orientati alla standardizzazione e alla riproduzione geometrica accurata, l'*H-BIM* elaborato in questa ricerca si è configurato come un dispositivo critico, in grado di raccontare le dinamiche evolutive dell'edificio attraverso un sistema strutturato ma aperto. Ogni unità muraria modellata è esito diretto di una lettura stratigrafica, tradotta in geometria e informazione secondo una struttura parametrica che privilegia la leggibilità dei rapporti nel tempo.

Il modello è stato costruito utilizzando famiglie personalizzate, realizzate per restituire fedelmente le specificità costruttive e morfologiche del caso studio, evitando soluzioni predefinite e semplificazioni. Le entità edilizie sono state organizzate in modo da consentire sia una visualizzazione per fasi, sia l'attivazione di filtri tematici e interpretativi. Questo ha permesso di costruire un ambiente informativo navigabile, in cui il dato non è mai isolato, ma sempre situato in una rete di relazioni temporali e strutturali.

In tal senso, il modello non è stato pensato come fotografia dell'esistente, ma come struttura narrativa capace di ospitare il racconto delle trasformazioni, delle ipotesi ricostruttive, dei vuoti e delle discontinuità. Le relazioni tra gli elementi non rispondono a una logica puramente topologica, ma riflettono le fasi

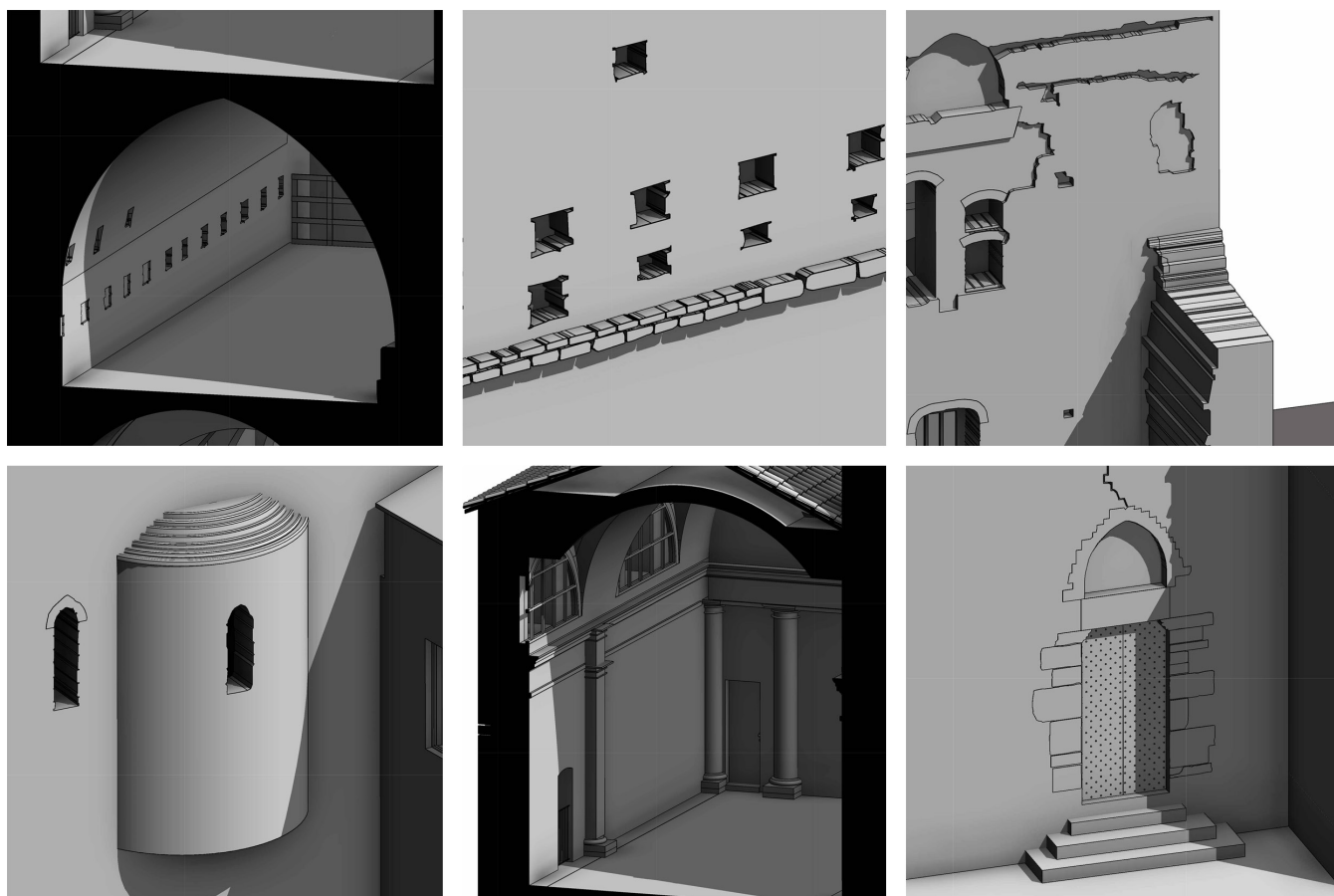


Fig. 2: Restituzione informatizzata dello stato di fatto (elaborazione grafica dell'autore).

storiche di aggregazione, sostituzione e adattamento che hanno scandito la formazione dell'edificio.

Strutturazione informativa: logica diacronica e relazionale

La strutturazione informativa del modello *H-BIM* è stata guidata da un duplice principio: da un lato, la volontà di rendere esplicita la sequenza temporale delle trasformazioni edilizie attraverso la formalizzazione delle fasi; dall'altro, la necessità di costruire un sistema relazionale capace di restituire non soltanto i singoli stati costruttivi, ma anche i legami (materiali, funzionali, tipologici) che intercorrono tra le varie unità murarie.

Ogni elemento modellato è stato associato a un set di parametri informativi che ne definiscono la fase di appartenenza, la tecnica costruttiva, la relazione con il contesto urbano (in particolare con la cortina muraria), il livello di affidabilità della lettura e la natura dell'informazione (diretta, indiretta, ipotetica). La struttura dati è stata pensata per ospitare non soltanto contenuti verificabili, ma anche margini di incertezza, evidenziando la componente interpretativa della modellazione e accogliendo la possibilità di versioni alternative o aggiornamenti futuri.

Questa logica ha imposto una segmentazione

spinta delle componenti architettoniche: non più muri, volte, aperture e coperture come categorie tipologiche generiche, ma unità costruttive definite sulla base della loro stratificazione storica e del loro ruolo nella sequenza evolutiva dell'edificio. Il sistema parametrico ha così trasformato il modello in una vera e propria mappa del tempo, in cui ogni oggetto può essere letto tanto per la sua geometria quanto per il suo significato nel processo di trasformazione.

La costruzione dell'ambiente informativo ha dunque seguito una logica diacronica: non un modello unico, monolitico, ma una struttura multilivello, attraversata dal tempo, interrogabile per fasi (Fig. 3), per relazioni, per grado di attendibilità. In questo senso, il modello si propone come strumento di conoscenza stratificato e relazionale, in cui l'informazione non è semplicemente associata agli oggetti, ma è parte integrante del loro statuto ontologico.

Visualizzazione delle fasi e filtri interpretativi

La possibilità di visualizzare le fasi costruttive dell'edificio non è stata concepita come una semplice funzionalità tecnica del modello, ma come una componente essenziale del processo interpretativo. La struttura *H-BIM* realizzata consente di attivare, disattivare e isolare porzioni del manufatto in

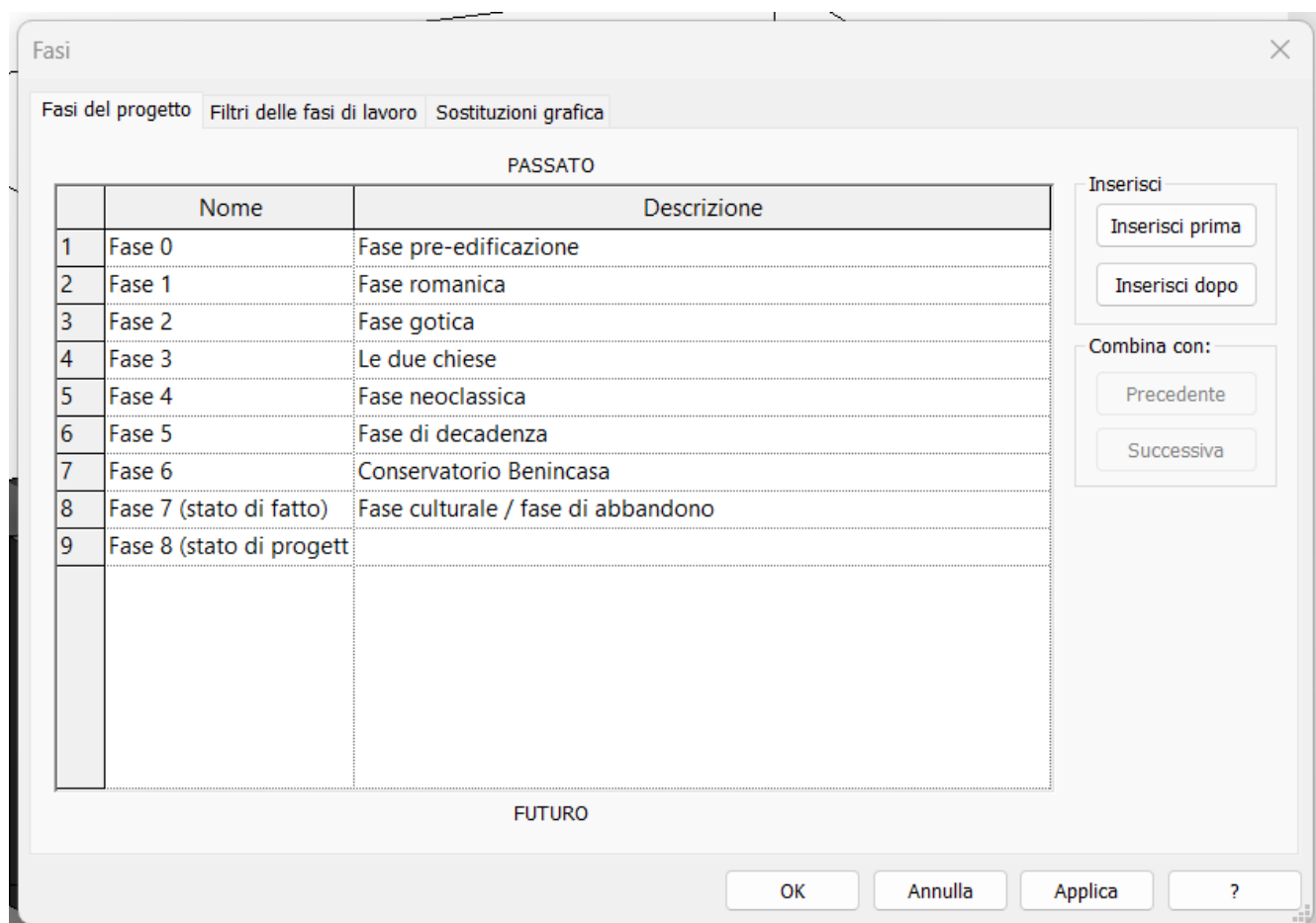


Fig. 3: Organizzazione dell'ambiente BIM in fasi temporali (elaborazione grafica dell'autore).

base ai parametri temporali, morfologici e interpretativi definiti nella fase di strutturazione informativa. Ciò rende il modello non soltanto esplorabile, ma leggibile secondo molteplici traiettorie, a partire da quella diacronica.

Attraverso l'utilizzo dei filtri di visualizzazione, è possibile ricostruire le fasi principali della crescita edilizia, osservando lo sviluppo per addizione, sovrapposizione o sostituzione delle parti (Fig. 4). Il modello, in questo modo, non restituisce un'immagine unitaria e definitiva dell'edificio, ma ne racconta le trasformazioni, esplicitando le logiche costruttive e funzionali che hanno guidato ogni intervento. La visualizzazione diventa così una forma di racconto scientifico, in grado di restituire la storia dell'edificio attraverso l'interfaccia stessa del modello.

Particolare attenzione è stata dedicata alla rappresentazione dell'incertezza. Laddove la stratigrafia non ha consentito una lettura univoca, o dove le fonti risultano lacunose, gli elementi sono stati codificati come "ipotetici" o "non verificati", rendendo visibile il margine di indeterminatezza. Questa scelta consente di mantenere aperto il modello a revisioni future, riconoscendo la natura sempre parziale e rivedibile della conoscenza storica.

Infine, i filtri tematici, basati su relazioni con il contesto, tipologie murarie, livelli di intervento,

permettono di esplorare l'edificio anche secondo logiche trasversali, offrendo un supporto operativo per la ricerca, la conservazione e la progettazione. In questa prospettiva, la visualizzazione delle fasi non è solo uno strumento didattico o divulgativo, ma una vera e propria tecnica di lettura critica.

Conclusioni

La ricerca condotta sul caso studio della chiesa di San Benedetto alla Canapina ha offerto l'occasione per riflettere criticamente sul potenziale dell'*H-BIM* quale strumento per la rappresentazione del costruito storico in chiave stratigrafica e temporale. In un contesto architettonico caratterizzato da una marcata discontinuità documentaria, da una stratificazione materiale complessa e da una relazione strutturale non risolta con il sistema murario urbano, la modellazione informativa ha assunto il ruolo di dispositivo interpretativo, capace di formalizzare l'ipotesi ricostruttiva senza irrigidirla in una restituzione cristallizzata.

L'elaborazione del modello, fondato su una struttura parametrica costruita ad hoc, ha reso possibile la mappatura delle fasi costruttive in una logica diacronica e relazionale, assumendo la variabile

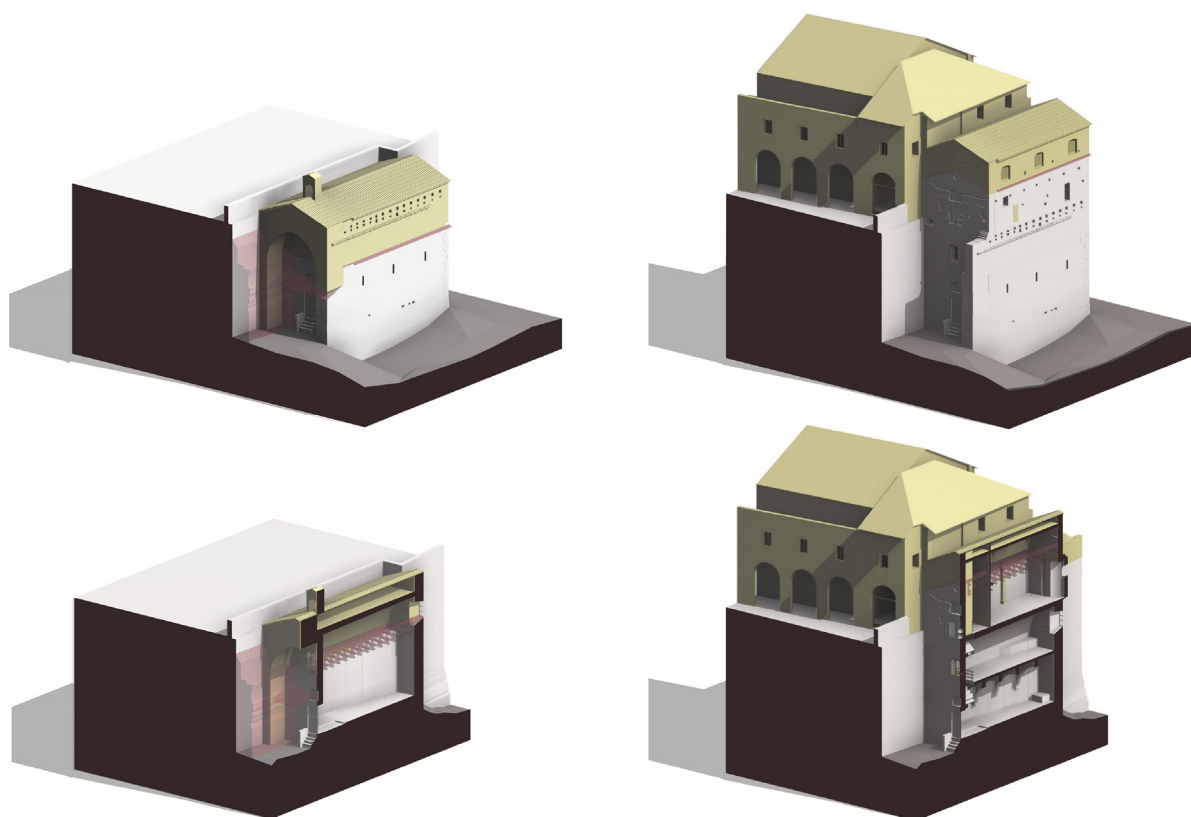


Fig. 4: Stati sovrapposti relativi alla prima (destra) e ultima (sinistra) fase costruttiva (elaborazione grafica dell'autore).

temporale come principio generativo e non come semplice metadato associato. La segmentazione muraria e la successiva codifica informativa hanno permesso di integrare dati certi, parziali e ipotetici, esplicitando i limiti conoscitivi e offrendo un modello scientificamente trasparente. In tal senso, l'*H-BIM* non si è configurato come esito finale della ricerca, ma come ambiente dinamico di sperimentazione e come dispositivo di costruzione del sapere storico.

Il contributo evidenzia inoltre la necessità di superare la dicotomia, ancora largamente presente nella prassi, tra modello geometrico e modello informativo, a favore di una visione integrata in cui la modellazione non sia strumento neutro di archiviazione del dato ma parte attiva del processo critico. Il caso studio dimostra come, anche in assenza di rilievi massivi e di fonti estese, sia possibile sviluppare un modello capace di rappresentare le trasformazioni del costruito in termini storicamente fondati e operativamente utili. In questa prospettiva, la modellazione informativa si configura non solo come supporto tecnico, ma come spazio teorico, capace di ospitare il tempo dell'architettura e di rendere operativa la complessità.

La metodologia adottata, basata sull'integrazione tra rilievo diretto, lettura archeologica delle mura e modellazione semantica, propone un approccio replicabile in altri contesti, con particolare efficacia nei casi in cui la marginalità documentaria impone una postura critica e interpretativa. L'*H-BIM*, in questa chiave, si rivela non tanto come tecnica, ma come pratica culturale, in grado di generare rappresentazioni che non si limitano a descrivere, ma che interrogano, espongono, discutono. Pertanto, il lavoro vuole proporre una lettura del modello non come replica dell'edificio, ma come costruzione intellettuale, scientificamente fondata, orientata alla restituzione del tempo, alla valorizzazione delle discontinuità e all'esplicitazione delle scelte interpretative che inevitabilmente strutturano ogni forma di conoscenza dell'architettura storica.

Bibliografia

Allegra, V., Di Paola, F., Lo Brutto, M., & Vinci, C. (2020). SCAN-TO-BIM FOR THE MANAGEMENT OF HERITAGE BUILDINGS: THE CASE STUDY OF THE CASTLE OF MAREDOLCE (PALERMO, ITALY). *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2, 1355–1362.

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-1355-2020>

Belforti, G., & Mariotti, A. (1751). *Storia civile ed ecclesiastica della città di Perugia, 1751-1800, Biblioteca Augusta di Perugia, Ms.1414-1418*.

Bianconi, F., Filippucci, M., Cerbai, C., Cornacchini, F., & Bertocci, S. (2024). HBIM per connotare le informazioni. Ecosistemi Digitali per la conservazione del patrimonio architettonico della Basilica di Santa Maria degli Angeli. *DN*, 14, 46–58.

Bianconi, F., Filippucci, M., Parisi, A., & Battaglini, S. (2021). HBIM per la gestione della pubblica amministrazione. Il caso studio di Palazzo Vitelli alla Cannoniera. HBIM for public administration management. The case study of Palazzo Vitelli alla Cannoniera. *DN*, 9, Bertocci, Stefano, Andrea Arrighetti, and Matteo B.

Bilancia, M. (1988). *Il rapporto della città medioevale di Perugia con la cinta muraria etrusca*.

Bilancia, M. (2005). *Il muro nascosto. Alla scoperta delle mura antiche di Perugia*. Italgaf.

Bilancia, M. (2008). *Il muro etrusco di Perugia. La Cupa*. Italgaf.

Bilancia, M. (2020). *Una gita fuori porta. Passeggiate virtuali lungo le mura etrusche di Perugia*.

Bonazzi, L., & Innamorati, G. (1959). *Storia di Perugia*. Unione arti grafiche.

Bruno, N., & Roncella, R. (2018). A restoration oriented HBIM system for cultural heritage documentation: The case study of parma cathedral. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2), 171–178.

<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-171-2018>

Brusaporci, S., Ruggeri, G., Maiezza, P., & Tata, A. (2018). AHBIM per l'analisi stratigrafica dell'architettura storica. *Restauro Archeologico*, 27(1), 112–132. <https://doi.org/10.13128/RA-23463>

Dore, C., & Murphy, M. (2017). Current state of the art historic building information modelling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 185–192.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2016). *Il BIM: guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*. Hoepli.

Fabretti, A. (1892). *Documenti di Storia Perugina* (II). coi tipi privati dell'editore.

FABRETTI, A., BONAINI, F., & POLIDORI, F. (1850). CRONACA DELLA CITTÀ DI PERUGIA DAL 1309 AL 1491 NOTA COL NOME DI DIARIO DEL GRAZIANI SECONDO UN CODICE APPARTENENTE AI CONTI BAGLIONI. *Archivio Storico Italiano*, 16(1), 69–750.

Mammoli, R., Mariotti, C., & Quattrini, R. (2021). Modeling the fourth dimension of architectural heritage: Enabling processes for a sustainable conservation. *Sustainability*, 13(9), 5173.

Mariotti, A. (1806). *Saggio di memorie istoriche civili ed ecclesiastiche della città di Perugia e suo contado* (Vol. 1). C. Baduel.

Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2013). HBIM. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 89–102. <https://doi.org/10.1016/J.ISPRSJPRS.2012.11.006>

Osello, A. (2012). *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*. Flaccovio.

Parrinello, S., & Picchio, F. (2023). Digital Strategies to Enhance Cultural Heritage Routes: From Integrated Survey to Digital Twins of Different European Architectural Scenarios. *Drones*, 7(9). <https://doi.org/10.3390/drones7090576>

Siepi, S. (1822). *Descrizione topologico-istorica della città di Perugia*. Garbinesi e Santucci.

Stanga, C., Banfi, F., & Roascio, S. (2023). Enhancing building archaeology: drawing, UAV photogrammetry and scan-to-BIM-to-VR process of ancient Roman ruins. *Drones*, 7(8), 521.

HBIM PER IL RESTAURO E LA VALORIZZAZIONE: STUDIO SUL MAUSOLEO DI ROMOLO A ROMA

**HBIM FOR RESTORATION AND ENHANCEMENT:
a study of the Mausoleum of Romulus in Rome**

Authors

Lorenza Ruggiero

Sapienza Università di Roma, Dipartimento Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

Email

lorenza.ruggiero@uniroma1.it

Keywords

HBIM
CULTURAL HERITAGE
ARCHEOLOGY
HYBRID MODELING
COMMON DATA ENVIRONMENT

Abstract

Lo studio propone una metodologia HBIM applicata al Mausoleo di Romolo a Roma, finalizzata al restauro e alla valorizzazione del monumento. La procedura parte dall'analisi approfondita dello stato di fatto e delle caratteristiche storiche e architettoniche, passa dalla definizione degli interventi conservativi necessari e si conclude con la realizzazione tramite modellazione ibrida e informatizzazione di un gemello digitale interrogabile, condivisibile e in costante aggiornamento.

The study proposes an HBIM-based methodology applied to the Mausoleum of Romulus in Rome, aimed at the conservation and enhancement of the monument. The workflow begins with an in-depth analysis of the current condition and of its historical and architectural features, proceeds with defining the of the conservation interventions' requirements and culminates in the creation, through hybrid modeling and data structuring, of a queryable, shareable, and continuously updated digital twin.

Il presente elaborato ripercorre la ricerca svolta tra il 2022 e il 2023 in occasione della tesi di Laurea Magistrale in Architettura e Restauro presso l'Università La Sapienza di Roma. Il lavoro di tesi è consistito nella sperimentazione di una metodologia di gestione del processo di progettazione di tipo HBIM applicato al caso studio del Mausoleo di Romolo nella Villa di Massenzio, con la prospettiva di sviluppo di un intervento restauro e di valorizzazione.

In Italia l'adozione del *Building Information Modeling* è stata resa obbligatoria per le opere pubbliche a partire dal 2025 con il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 560 del 2017; ma se negli edifici di nuova costruzione le difficoltà riguardano prevalentemente l'ampia richiesta di tecnici e professionisti formati, per l'edilizia antica e storica le problematiche risiedono nella natura parametrica dell'applicativo che difficilmente si adatta all'infinita varietà tecnico-costruttiva del patrimonio edilizio storico, in particolar modo quello italiano. Per questo motivo negli ultimi anni si è sperimentata l'applicazione del BIM al patrimonio, aprendo la strada all'*Heritage Building Information Modeling*, che consente di creare repliche digitali dettagliate di edifici storici, fornendo informazioni sulla loro evoluzione, sullo stato di conservazione e interventi di restauro svolti negli anni. Lo studio qui presentato intende porsi in continuità con tale sperimentazione.

Il Mausoleo di Romolo, situato a Roma al terzo miglio della Via Appia Antica, è parte dell'area archeologica conosciuta come Villa di Massenzio, che comprende anche i resti del palazzo imperiale e del circo. Tradizionalmente datato al 309 d.C., il complesso fu voluto dall'imperatore Massenzio dopo la morte del figlio Valerio Romolo come tomba dinastica destinata alla sua divinizzazione, in chiara emulazione del Pantheon e del culto imperiale di Cesare [De Angelis Bertolotti, 1980].

Dopo secoli di abbandono in epoca bassomedievale e rinascimentale e il successivo impiego a scopo agricolo soprattutto sotto la proprietà della famiglia Torlonia, il monumento e l'intero sito appartengono dal 1943 [Clementi, 2021] al Comune di Roma e sono aperti ai visitatori che percorrono la Via Appia Antica. Nonostante il generale deterioramento dei materiali lapidei, prevalentemente dovuto a condizioni di umidità da infiltrazione e da ristagno, testimoni di una non appropriata manutenzione, le condizioni generali del monumento sepolcrale non destano particolari preoccupazioni. Ciò che è certa è la necessità di interventi di valorizzazione che possano dare risalto alle potenzialità del complesso archeologico. Da tali presupposti ha avuto origine la ricerca qui riportata.

Workflow operativo

Le operazioni di studio del manufatto e di creazione del modello HBIM hanno seguito un *workflow*

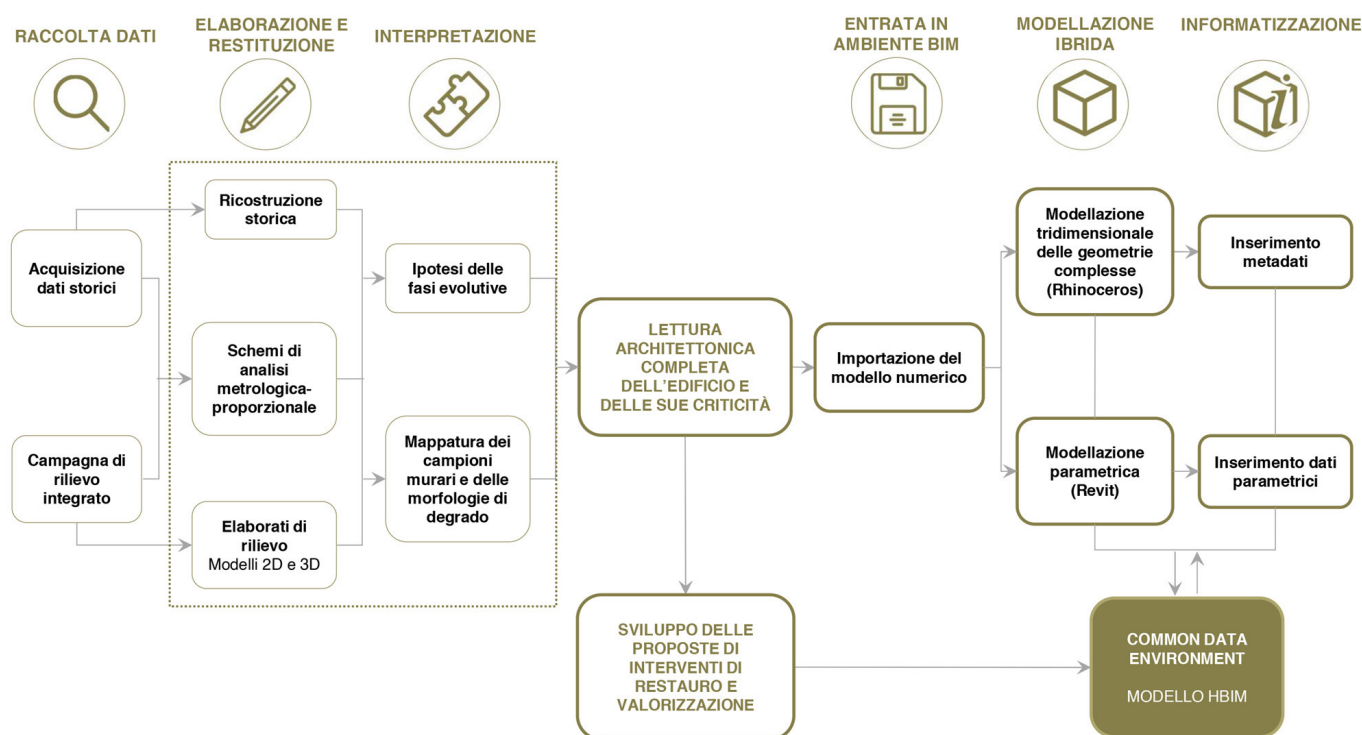


Fig. 1: "Fonte concordata di informazioni per un progetto o un bene, utilizzata per raccogliere, gestire e diffondere ogni contenitore informativo attraverso un processo di gestione" (UNI EN ISO 19650-1:2018, par. 3.3.15).

operativo ben definito (Fig.1). Il percorso ha avuto inizio con la fase conoscitiva, ovvero con la raccolta dei dati, la loro elaborazione e restituzione tramite modelli e la successiva interpretazione.

Queste iniziali e fondamentali operazioni hanno condotto ad un primo risultato: la lettura architettonica completa dell'edificio e delle sue criticità. La conoscenza approfondita dell'oggetto, nella sua consistenza fisica e nella sua storia pregressa, è l'elemento di partenza essenziale per ogni progetto che su di esso si voglia sviluppare, che si tratti di un intervento diretto sull'oggetto o diversamente di una elaborazione digitale. Una volta compreso l'edificio è stato possibile individuare le necessità conservative e di conseguenza sviluppare delle proposte di intervento e di valorizzazione.

Al termine delle fasi di conoscenza e di sviluppo della proposta progettuale, ha avuto inizio la sperimentazione in ambiente HBIM. La metodologia applicata non deriva da regole standardizzate, ma è stata costruita passo dopo passo, a seconda dei limiti imposti dall'oggetto di studio e dall'applicativo stesso; si tratta quindi di una delle possibili strade che si possono percorrere per arrivare all'obiettivo dell'ottenimento di un modello HBIM. In seguito all'ingresso in ambiente BIM della nuvola di punti, ottenuta dal rilevamento massivo da laser scanner, l'oggetto architettonico è stato modellato e informatizzato, ovvero sono state inserite tutte le informazioni precedentemente raccolte ed elaborate e i dati resi accessibili e condivisibili. Si è ottenuto così il *common data environment*¹.

1_ "Fonte concordata di informazioni per un progetto o un bene, utilizzata per raccogliere, gestire e diffondere ogni contenitore informativo attraverso un processo di gestione" (UNI EN ISO 19650-1:2018, par. 3.3.15)

Lettura architettonica completa dell'edificio e delle sue criticità

La fase conoscitiva è stata sviluppata partendo dall'acquisizione dei dati storici da fonti bibliografiche ed archivistiche² che hanno reso possibile ricostruire la storia del monumento e degli interventi di trasformazione e restauro che lo hanno interessato.

È in sede di campagna di rilievo che si ha avuto modo di conoscere direttamente il bene: in questa occasione sono stati raccolti dati geometrico-dimensionali tramite rilievo diretto, ovvero con strumenti di rilevamento tradizionali, e l'acquisizione massiva da laser scanner 3D e fotogrammetria da drone. Un'attenta indagine visiva ha permesso di rilevare invece i dati qualitativi, come i caratteri costruttivi, le consistenze murarie e le diverse forme di degrado. I dati raccolti sono stati opportunamente integrati tra di loro, elaborati e quindi restituiti sotto forma di ricostruzione storica grafica e testuale della vita dell'edificio, elaborati di rilievo, schemi di analisi metrologica-proporzionale, elaborati tridimensionali come la nuvola di punti (Fig.2) e i modelli 3D riportanti stato di fatto e di ricostruzione.

Il processo conoscitivo ha avuto termine con l'interpretazione e messa a sistema degli elementi in possesso: analizzando singolarmente la cripta del Mausoleo e il Casale Torlonia, sono state quindi elaborate le mappature di analisi degli apparecchi murari e delle patologie di degrado.

Infine, sulla base della documentazione storica e dello studio dei caratteri costruttivi è stata proposta un'ipotesi di ricostruzione della trasformazione

2_ Sono stati consultati i seguenti archivi: Archivio di Stato di Roma, Archivio Centrale dello Stato, Archivio della Soprintendenza Speciale di Roma.



Fig. 2: Nuvola di punti ottenuta da laser scanner 3D.

edilizia del Mausoleo e del Casale Torlonia³ nel corso dei secoli, graficizzata attraverso elaborati di sintesi delle fasi costruttive.

Sviluppo delle proposte di intervento di restauro e valorizzazione

Alla luce della completa comprensione dell'oggetto è stata sviluppata la proposta di intervento, che non ha come obiettivo la sola preservazione della consistenza fisica del manufatto, ma tenta di porre le basi per una più ampia riflessione che possa in futuro coinvolgere l'intera area archeologica, comprensiva del Circo e soprattutto delle rovine dell'antico Palazzo di Massenzio, oggi inaccessibili e in gravi condizioni conservative.

La proposta progettuale si sviluppa secondo tre categorie d'intervento integrate, per rispondere sia

3_ Casale Torlonia è la denominazione del casale agricolo realizzato nel XVIII secolo ad inglobare le vestigia dell'antico pronao del mausoleo, successivamente acquistato e trasformato dalla famiglia Torlonia.

alle esigenze di tutela sia a quelle di valorizzazione del complesso. In primo luogo, il restauro conservativo è finalizzato all'eliminazione delle patologie di degrado individuate sul mausoleo e soprattutto alla risoluzione delle cause le determinano, con l'obiettivo di assicurare la stabilità e la durabilità dei manufatti.

Parallelamente si colloca il restauro con finalità di valorizzazione, finalizzato a far emergere le potenzialità del sito e a promuoverne la conoscenza e la fruizione da parte del pubblico. Tale intervento interessa l'intera area archeologica, dove si prevede la creazione di due percorsi di visita differenziati, uno di tipo "immersivo" e uno "essenziale", corredati da tappe con totem informativi e postazioni dotate di strumenti per l'osservazione del sito in realtà aumentata (Fig.3). Nello specifico del mausoleo, il progetto comprende il restauro e la ricomposizione visiva dei resti del quadriportico e una riorganizzazione complessiva del percorso di visita, così da rendere più leggibile e accessibile la struttura.

Infine, viene rivolta l'attenzione al tema dell'accessibilità, per garantire a tutti i visitatori, comprese le persone con ridotta o impedita capacità motoria e/o sensoriale, la possibilità di raggiungere e percorrere il sito in condizioni di sicurezza e autonomia.

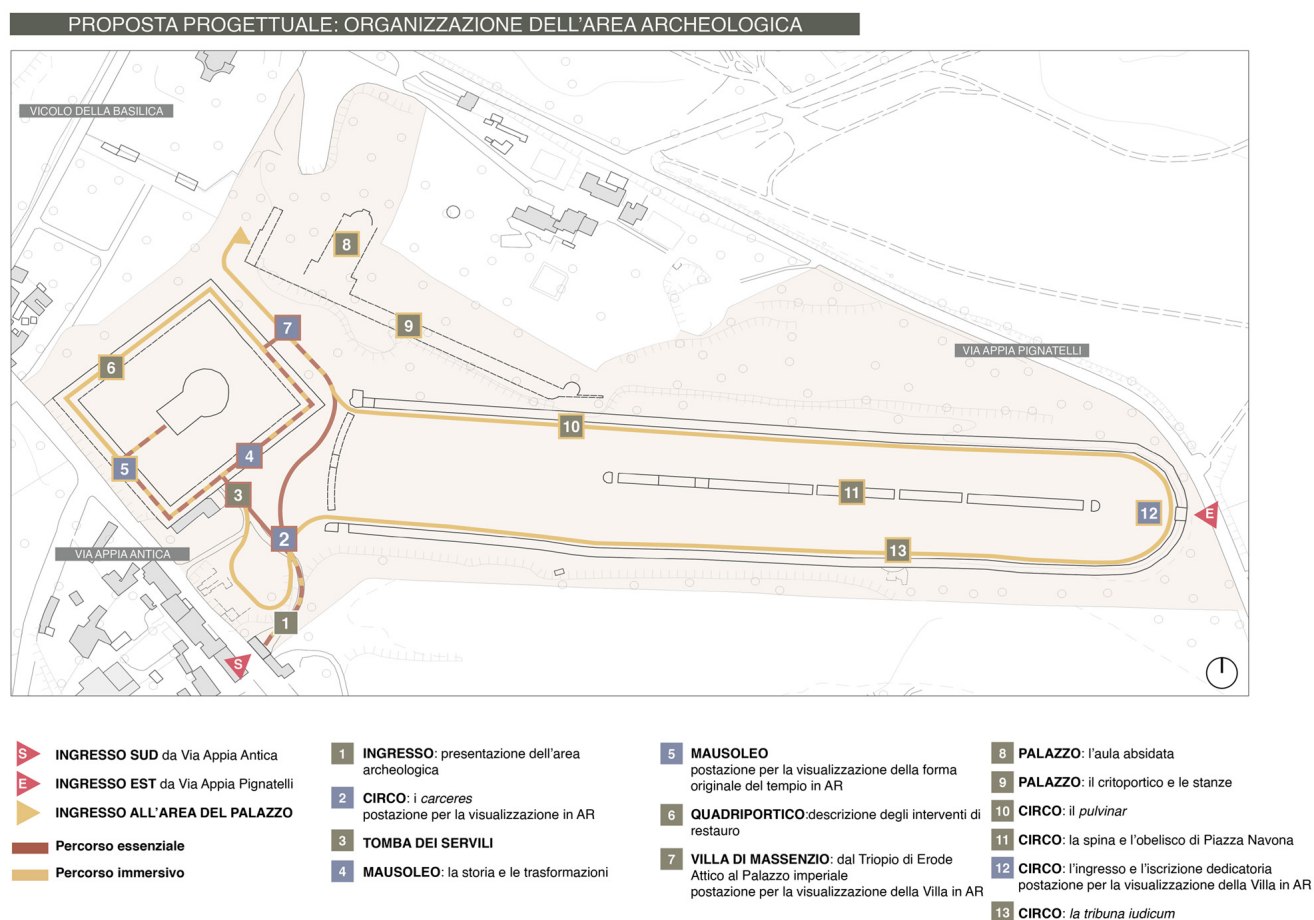


Fig. 3: Proposta progettuale, organizzazione dell'area archeologica.

Costruzione del modello HBIM

Per l'elaborazione del modello BIM è stato utilizzato il *software Autodesk Revit*. Il primo passo per la costituzione del modello è stata l'importazione della nuvola di punti ottenuta da drone e laser scanner all'interno del *software* e l'impostazione dei piani di sezione utili ai fini della modellazione e della visualizzazione dell'oggetto.

Una volta impostati i piani di sezione ha avuto inizio la fase di modellazione. Fin da subito, è emerso che il principale limite del modellatore BIM consiste nella scarsa libertà delle operazioni in quanto il *software* permette una modellazione di tipo parametrico: gli oggetti sono definiti da valori variabili che controllano forma, dimensioni, comportamento. Tali operazioni, permettendo esclusivamente la creazione di elementi architettonici o strutturali "standard", propri delle costruzioni moderne e contemporanee, e/o di masse generiche di difficile gestione, risulta poco adatta alla modellazione di un oggetto irregolare come quello archeologico.

La soluzione sperimentata è stata quella della modellazione ibrida, ovvero la creazione di un modello realizzato in parte tramite elaborazione tridimensionale delle geometrie complesse con il *software Rhinoceros*, e in parte tramite elaborazione parametrica con il *software Revit*.

Per mezzo della modellazione tradizionale è stato ricostruito il probabile aspetto originario del Mausoleo. Questa ricostruzione è stata realizzata sulla base delle ricomposizioni storiche proposte da Angelo Uggeri [Rasch, 1984] e di Luigi Canina, interpretate e adattate all'accuratezza del rilievo effettuato. La modellazione è avvenuta per segmentazione semantica, ovvero per singoli elementi architettonici, per consentire una migliore comprensione dell'architettura e una più agevole gestione del modello. Lo stesso criterio è stato applicato alla modellazione

dello stato attuale delle rovine della cripta, particolarmente irregolari e degradate (Fig.4).

Successivamente, i modelli sono stati importati in ambiente BIM per poi procedere con la modellazione parametrica dello stato di fatto del Casale Torlonia. Per la costruzione del Casale sono stati utilizzati gli strumenti che il *software Revit* fornisce: le pareti e le fondazioni sono state quindi formate a partire dagli elementi di base "muri", modellati seguendo la nuvola di punti come guida di base. Di questi, sono stati poi specificati i parametri indicando la natura materica degli strati strutturali e le dimensioni. In seguito, sono stati inseriti porte e finestre selezionando il tipo corrispondente dalle rispettive famiglie di sistema (Fig.5).

Tra le funzionalità del *software*, particolarmente utile e significativa per il caso in esame, si è rivelata la gestione delle fasi. Lo strumento "Fasi" di *Revit* consente, infatti, di organizzare i diversi momenti temporali del progetto, dallo stato esistente alle demolizioni, fino alle nuove costruzioni, offrendo una lettura strutturata delle trasformazioni. L'applicazione di questa funzione a un edificio storico o archeologico risulta di grande valore poiché permette di visualizzare in modo chiaro l'esito degli studi sulle trasformazioni edilizie, dalla configurazione originaria o, come in questo caso, dalla sua ipotesi fino allo stato attuale.

Per mezzo della modellazione parametrica sono stati, inoltre, sviluppati i modelli di analisi delle murature rilevate durante la prima fase di studio. In questo caso, ogni prospetto è stato suddiviso in aree in base ad ogni campione murario rilevato attraverso la creazione di muri di base i cui profili sono stati tracciati seguendo l'elaborato grafico della mappatura come guida. Questa operazione è stata effettuata per l'analisi muraria del fronte sud ovest del Casale Torlonia e dell'intera cripta, di cui è stato realizzato uno sviluppo piano per semplificare le

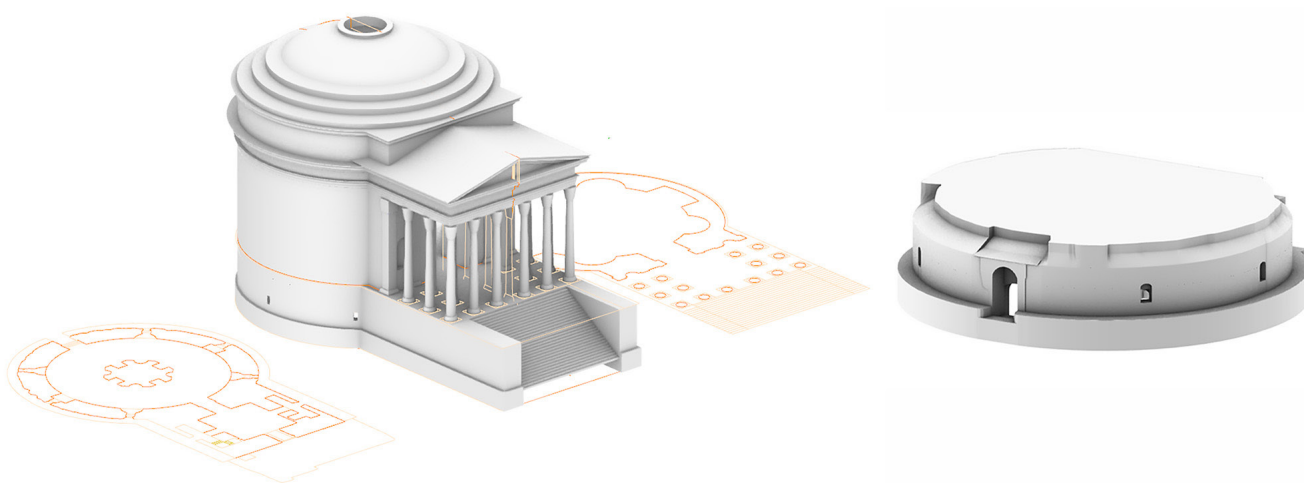


Fig. 4: Rhinoceros, modellazione tridimensionale dello stato originario del mausoleo e della cripta.

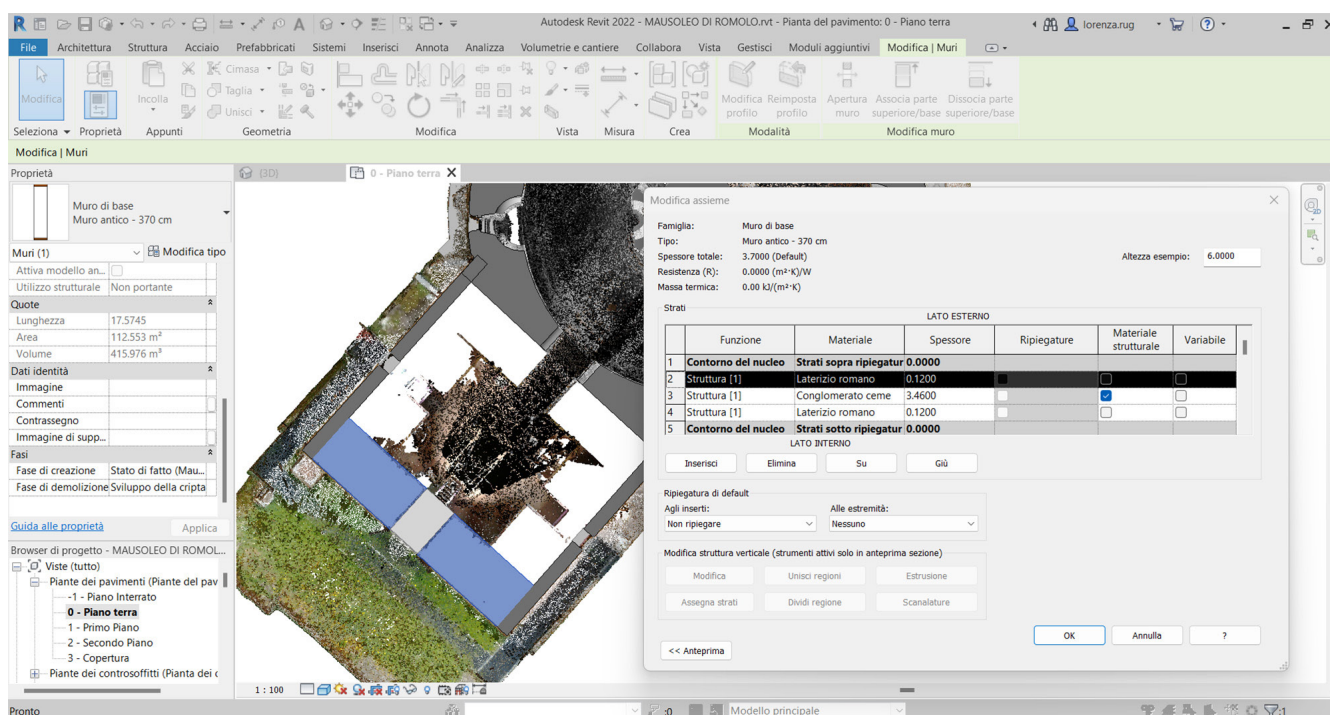


Fig. 5: Revit, modellazione parametrica del Casale Torlonia.

procedure di modellazione. Lo stesso procedimento è stato applicato per il modello di analisi del degrado: in questo caso, ogni muro di base è associato ad una forma di degrado.

Informatizzazione del modello

L'ultima fase del lavoro è stata quella dell'informatizzazione, ovvero dell'inserimento nel modello di tutti i dati e le informazioni raccolte in fase di studio, resi consultabili e condivisibili. L'informatizzazione del modello è avvenuta tramite due modalità: l'inserimento di dati parametrici e l'inserimento di metadati.

Al modello di analisi delle murature sopra descritto, per ogni campione murario è stato creato ed assegnato un nuovo materiale. Attraverso il pannello di gestione dei nuovi materiali sono stati inseriti, come dati parametrici, le informazioni relative alle murature all'interno della voce "identità" del materiale. Questo processo consente di interrogare direttamente il modello di analisi in quanto ogni colore della mappatura identifica un muro di base a cui corrisponde un campione murario con le relative informazioni. Il processo di interrogazione del modello di analisi si articola in una sequenza di operazioni che garantiscono una lettura completa delle informazioni. In primo luogo, si procede con la selezione del muro di interesse: all'interno della proprietà "consistenza", appositamente predisposta, si apre il pannello dedicato ai materiali. Per ogni materiale sono disponibili la descrizione del campione e un [link](#) diretto che consente di accedere alla scheda

corrispondente contenuta nella cartella di archivio su *drive*. A completamento della consultazione, è inoltre disponibile un collegamento alla tavola di approfondimento che raccoglie in un unico documento tutte le schede di analisi, offrendo una visione complessiva della mappatura.

Procedimento analogo è stato applicato per il modello di analisi del degrado, nel quale ogni elemento muro rappresenta una forma di degrado. Tra le proprietà dei materiali, ad ogni forma di degrado è stata allegata una descrizione del fenomeno [UNI 11182, 2006], gli interventi da effettuare e il [link](#) tramite il quale visualizzare la ripresa fotografica della tipologia di degrado che si analizza (Fig.6).

Parallelamente, l'informatizzazione è avvenuta anche tramite metadati, ovvero documenti allegati ad elementi del modello, archiviati e condivisi in uno spazio *drive* accessibile ed aggiornabile. Ai [link](#) si accede dal pannello "proprietà", in voci appositamente create tramite la gestione dei parametri di progetto. Ad ogni vista del modello sono stati allegati i *file* di rilievo, le tavole di approfondimento e di progetto. Inoltre, tramite l'interrogazione dei singoli elementi è possibile aprire e consultare ulteriori approfondimenti, tra cui le tavole di sintesi delle fasi costruttive e le informazioni storiche.

Le informazioni storiche acquisite durante la fase conoscitiva sono state sistematizzate in un *file Excel* tale da consentire una consultazione chiara e immediata. Il primo foglio raccoglie in forma sintetica gli eventi principali, riportando per ciascuno la data, la relativa informazione e un collegamento diretto alla corrispondente immagine o fonte grafica

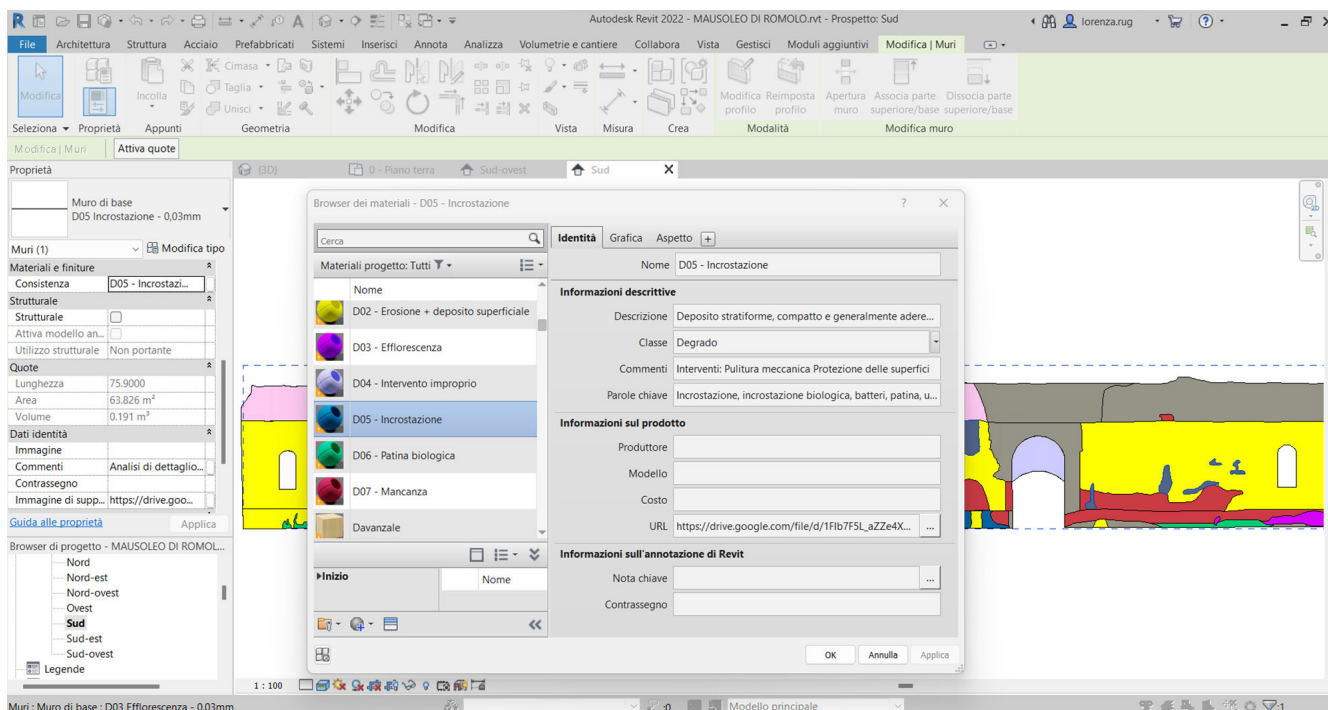


Fig. 6: Revit, informatizzazione parametrica del modello di analisi del degrado.

contenuta nei fogli di approfondimento. A seguire, ogni foglio di approfondimento è dedicato a un singolo anno o a uno specifico arco temporale di cui si dispongono dati, offrendo così una visione più articolata e contestualizzata delle informazioni storiche raccolte. Tale sistema consente una semplificazione nella gestione degli archivi e la rapida accessibilità delle informazioni; in particolare la condivisione di un *database* così strutturato può essere facilmente aggiornato in base a futuri studi e scoperte.

Conclusioni

Il modello HBIM del Mausoleo di Romolo costituisce una riproduzione virtuale e dinamica del monumento archeologico, in cui la geometria e i caratteri tridimensionali raccolgono le informazioni elaborate nello studio e gli aspetti necessari al progetto di restauro e valorizzazione, all'interno di un ambiente consultabile, condivisibile, interoperabile e costantemente aggiornabile (Fig.7).

Il lavoro ha evidenziato ostacoli nell'adozione di tale sistema di progettazione, legati soprattutto all'applicazione della modellazione parametrica a contesti complessi come l'architettura storica e l'archeologia, caratterizzati da dati eterogenei e non standardizzati che richiedono strumenti flessibili e competenze specifiche. In questa prospettiva, la modellazione ibrida e la duplice modalità di informatizzazione sperimentate si sono dimostrate efficaci nella costruzione di modelli digitali per l'edilizia storica, riducendo il rischio di una rappresentazione

eccessivamente semplificata dovuta alla rigidità degli strumenti.

Al contempo, sono emerse le potenzialità del sistema per la gestione e valorizzazione del patrimonio culturale, grazie alla possibilità di aggiornare i modelli in modo continuo e illimitato e alla condivisione tramite piattaforme *cloud*, che promuove un'efficace collaborazione interdisciplinare tra professionisti.

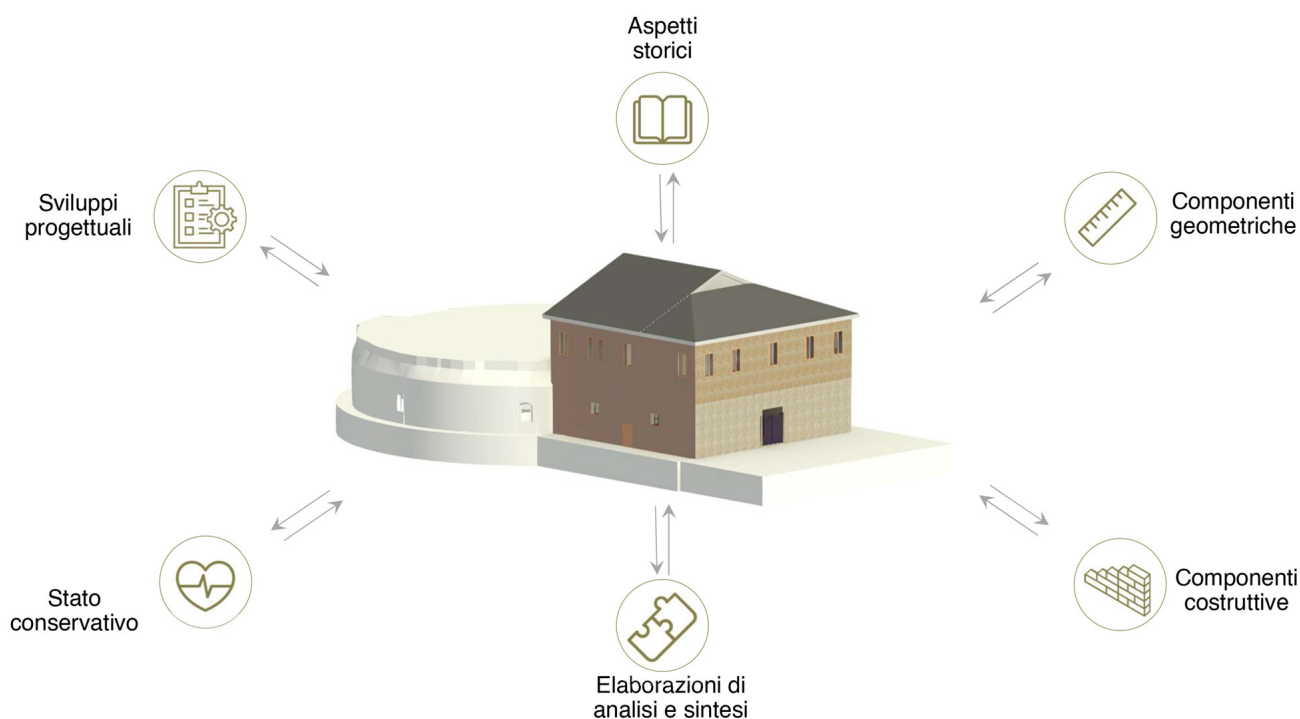


Fig. 7: Modello HBIM finale.

Bibliografia

Calza, R., & Pisani Sartorio, G. (1976). *La Villa di Massenzio sulla via Appia: Il palazzo, le opere d'arte*. Roma: Istituto di Studi Romani.

Camardo, C. (1999). La documentazione d'archivio relativa agli interventi per la tutela e il recupero del circo. In G. Ioppolo & G. Pisani Sartorio (a cura di), *La villa di Massenzio sulla via Appia: Il circo*. Roma: Istituto Nazionale di Studi Romani, Editore Colombo.

Canina, L. (1853). *La prima parte della Via Appia dalla Porta Capena a Boville*. Roma: Stabilimento Tipografico di G. A. Bertinelli.

Catuogno, R., & Di Luggo, A. (2016). Dalla nuvola di punti all'HBIM: Rilievo e modellazione per la conoscenza e la gestione del patrimonio architettonico. In T. Empler (a cura di), *3D modeling & BIM: Applicazioni e possibili futuri sviluppi*. Roma: Sapienza, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura.

Clementi, J. (2021). *I Torlonia e l'archeologia nell'Ottocento: Scavi e scoperte nel parco dell'Appia Antica*. Roma: Gangemi.

De Angelis Bertolotti, R., Ioppolo, G., & Pisani Sartorio, G. (1980). *La residenza imperiale di Massenzio*. Roma: Fratelli Palombi Editori.

Ippolito, A., Porfiri, F., Darwa, R., & Cipolletta, M. (2023). Dall'analisi storica ai modelli informatizzati HBIM: Un processo critico sul Chiostro di S. Maria della Pace. In T. Empler, A. Caldarone, & A. Fusinetti (a cura di), *Soluzioni per il Cultural Heritage*. Roma: Sapienza, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura.

Luschi, L. (1984). L'iconografia dell'edificio rotondo nella monetazione massenziana e il tempio del divo Romolo. *Bullettino della Commissione Archeologica Comunale di Roma*, 89(1), 41–54.

Motta, R. (1999). Storia della tenuta attraverso le fonti d'archivio. In *La villa di Massenzio sulla via Appia: Il circo*. Roma: Istituto Nazionale di Studi Romani, Editore Colombo.

Nibby, A. (1825). *Del circo volgarmente detto di Caracalla*. Roma: Stamperia di Filippo e Nicola De Romanis.

Quilici, L. (1976). *La via Appia da Roma a Bovillae*. Roma: Tipografia Centenari.

Rasch, J. J. (1984). *Das Maxentius-Mausoleum an der Via Appia in Rom* (Tav. VIII, 1–2).

Leggi e norme

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT) (2017). *Decreto 1° dicembre 2017, n. 560 – Modalità e tempi di progressiva introduzione dei metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 12 gennaio 2018.

UNI 11182:2006 – *Beni culturali – Materiali lapidei naturali ed artificiali – Descrizione della forma di alterazione – Terminologia e definizioni*. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano.

UNI EN ISO 19650-1:2018 – *Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) – Gestione informativa mediante il Building Information Modelling – Parte 1: Concetti e principi*

MODELIZACIÓN INFOGRÁFICA PARA LA GESTIÓN DE DATOS HISTÓRICO-ARQUITECTÓNICOS. EL COLEGIO NACIONAL DE MONSERRAT

Infographic Modeling for Managing Historical Architectural Data.
The Case of the Colegio Nacional de Monserrat

Authors

Constanza Valencia¹, M. Clara Amoedo Fiore¹, Carla Ferreyra²

¹ Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba

² Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno

Email

valenciacoti9@gmail.com

clara.amoedo@unc.edu.ar

cferreyra@unisa.it

Keywords

INTEGRATED SURVEYING
DIGITIZATION
HBIM
CONSERVATION
UNESCO

Abstract

El trabajo aborda la conservación digital del Colegio Nacional de Monserrat, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, mediante la aplicación de la metodología *Historic Building Information Modeling* (HBIM). En el marco de una cooperación internacional entre Italia y Argentina, y frente a la dispersión de datos históricos y técnicos, se desarrolló un modelo integrado que organiza información geométrica, material y documental, optimizando la investigación, la gestión y los mecanismos de preservación. Los resultados evidencian el potencial de la digitalización como herramienta interdisciplinaria para la salvaguardia del patrimonio arquitectónico.

This study presents a digital preservation initiative for the Colegio Nacional de Monserrat, recognized by UNESCO as a World Heritage Site. Through the implementation of the Historic Building Information Modeling (HBIM) methodology and in the context of international collaboration between Italy and Argentina, an integrated digital model was developed to address the dispersion of historical and technical data. By organizing geometric, material, and documentary information within a unified framework, the model streamlines research, management, and conservation activities, underscoring the transformative role of digitization in protecting architectural heritage.

Introducción

Conservación del patrimonio arquitectónico: entre colaboración interdisciplinaria e innovación digital

El interés por la conservación del patrimonio arquitectónico ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, no solo en países con una larga tradición en la protección de sus bienes culturales, como los europeos, sino también en naciones consideradas 'jóvenes' en términos de institucionalización patrimonial, como Argentina [Waisman, 1990]. Este fenómeno responde a múltiples factores culturales, sociales, económicos e institucionales que han transformado la manera en que se concibe y valora el patrimonio edificado.

Paralelamente, la transición digital ha redefinido los modos de documentar, difundir y gestionar el patrimonio [Puerto, 2024; Gujski, 2022]. Las nuevas tecnologías de relevamiento como la fotogrametría y el escaneo láser 3D [Clini, 2019; Miceli, 2020; Doria, 2022], o la modelización BIM patrimonial (HBIM) y la realidad aumentada [Teruggi, 2021; Tommasi, 2016; Penjor, 2024], permiten un registro exhaustivo de la arquitectura, asegurando la preservación de información incluso en contextos de deterioro o pérdida material. Más allá de la dimensión técnica, estas herramientas digitales modifican los paradigmas de acceso y apropiación cultural: plataformas virtuales, recorridos inmersivos y archivos online amplían la relación con el patrimonio y facilitan su difusión y exploración sin necesidad de desplazamiento físico, a la vez que optimizan la gestión de datos históricos, técnicos y arquitectónicos [Parrinello, 2017; Sanseverino, 2022; Moyano, 2022].

La presente investigación se centra en la conservación digital de uno de los edificios más importantes del pasado colonial cordobés y argentino: el Colegio Nacional de Monserrat. Este caso de estudio constituyó un escenario idóneo para aplicar nuevas tecnologías, en el marco de un acuerdo de cooperación internacional entre la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) y la Università degli Studi di Salerno (UNISA) [Amoedo, 2016]. La colaboración permitió articular experiencias académicas y metodológicas, promoviendo la internacionalización de la investigación [Moreira, 2018] y la colaboración interdisciplinaria que integró arquitectos, restauradores, historiadores, ingenieros y especialistas en técnicas de relevamiento digital, aunando esfuerzos hacia un mismo objetivo.

Una de las principales tareas fue la elaboración de un modelo infográfico capaz de ordenar y representar sistemáticamente la información más

actualizada sobre el edificio del Colegio Monserrat. Este recurso no solo facilita el proceso de elaboración de una documentación exhaustiva de la obra en toda su complejidad, sino que también ofrece herramientas para el análisis, la planificación y la conservación preventiva, además de poner a disposición de investigadores y de la comunidad una visualización integral del conjunto. Disciplinas como la gráfica digital y la metodología BIM han demostrado ser herramientas fundamentales para la representación y gestión de proyectos arquitectónicos en todas sus escalas [Balzani, 2021]. Su aplicación al campo patrimonial, conocida como HBIM, emerge como una estrategia integral para abordar la complejidad del acervo construido [Lo Turco, 2022], integrando información sobre geometría, estado de conservación [Barba, 2020], intervenciones previas y procesos de deterioro [Fassi, 2017], permitiendo la construcción de estrategias sistemáticas y colaborativas [Alirezaei, 2022] para garantizar su conservación [Acosta, 2022].

Se puede afirmar entonces que la preservación del patrimonio arquitectónico se sitúa en la intersección entre la valorización cultural, la innovación tecnológica y la gestión colaborativa e interdisciplinaria [Morandotti, 2019], abriendo el campo para la recepción de nuevos abordajes en el ámbito de la investigación, la conservación y la difusión cultural [Chiabrando, 2017].

El Colegio Nacional de Monserrat: un caso de estudio interuniversitario

El edificio del Colegio Nacional de Monserrat junto con la sede del rectorado de la UNC y la Iglesia de la Compañía de Jesús y su noviciado, forman parte del conjunto de la Manzana Jesuítica, declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en el año 2000. Su construcción data del Siglo XVIII, y su configuración claustral en proximidad a la plaza San Martín dan cuenta de las estructuras de tradición renacentista que originaron las ciudades en damero durante la colonia hispánica en América. La ciudad de Córdoba, fundada en 1573, sufrió pocas transformaciones en el trazado de las 70 manzanas originales, y el edificio del Monserrat es testigo de algunas de éstas. La ciudad aún conserva en su centro histórico algunos conjuntos claustrales que configuraron su perfil algunos siglos atrás. En este contexto el Colegio Monserrat es, no sólo el más antiguo, sino también parte de la historia y origen de la Universidad Nacional de Córdoba, símbolo de la identidad cultural cordobesa por excelencia.

A pesar de su relevancia, la gestión de esta obra y su conjunto enfrentan un desafío crítico: la fragmentación y dispersión de la información histórica

y arquitectónica. Aunque existen múltiples estudios y relevamientos, la ausencia de un formato digital unificado limita la colaboración interdisciplinaria y dificulta la conservación eficiente.

Es por esto que el proyecto desarrollado propuso la creación de un modelo infográfico digital que centralice y sistematice la información disponible sobre el edificio, facilitando tanto su conservación y restauración como la divulgación del patrimonio cultural. La falta de integración digital efectiva dificulta la evaluación precisa de las condiciones del edificio y la coordinación entre especialistas de distintas disciplinas, lo que representa un obstáculo significativo para la gestión integral.

La modelización infográfica se desarrolló bajo un enfoque interdisciplinario, integrando arquitectura, restauración, historia, ingeniería y tecnologías digitales, con el objetivo de consolidar y sistematizar los datos arquitectónicos y patrimoniales. Esta aproximación permitió articular información heterogénea - incluyendo relevamientos gráficos históricos, análisis constructivos y documentación material complementaria preexistente - en un sistema digital único y actualizado.

La metodología aplicada combinó técnicas de relevamiento y modelización: el relevamiento digital pasivo, por un lado, enfocado en el registro de las fases constructivas, permitió generar una base documental precisa sobre la evolución histórica del edificio. Por el otro, el relevamiento digital activo, mediante un escáner láser terrestre, produjo una nube de puntos de alta precisión que capturó la configuración geométrica espacial y con complemento de una estación total, las dimensiones del edificio. Finalmente, la integración de los datos en HBIM (Historic Building Information Modeling) sirvió para consolidar toda la información en un único modelo tridimensional funcional, reflejando geometría, materialidad y transformaciones arquitectónicas a lo largo del tiempo. Un modelo infográfico detallado y accesible, validado mediante análisis comparativos con la nube de puntos, que complementa tanto la investigación académica como la planificación de intervenciones de conservación, promoviendo una gestión integral y colaborativa del patrimonio arquitectónico.

Antecedentes del proyecto

El interés por documentar y conservar los edificios históricos de Córdoba y de su pasado jesuítico ha existido desde los tiempos postcoloniales. Si bien los registros sobre el Colegio Nacional de Monserrat se podrían rastrear hasta los planos del Hno. Forcada en el Siglo XVIII, o los dibujos de Juan Kronfuss en las primeras décadas del Siglo XX que registran la arquitectura colonial cordobesa, o

los trabajos de recomposición que se hicieron en la primera década del Siglo XXI desde algunos equipos de investigación dentro de la academia, fue con el programa "Monserrat: Viviendo la Historia", auspiciado y declarado de interés académico por la Universidad Nacional de Córdoba, donde comienza este proceso de reconstrucción digital y sistematizada con enfoque multidisciplinario, cuyos primeros resultados comenzaron a observarse durante la última década.

En el año 2015 se realiza el encargo desde la dirección del Colegio Monserrat a una empresa privada de tecnologías de relevamiento digital con base en Córdoba, de reconstruir el edificio del Colegio a través de un escaneo láser. A la nube de puntos se sumó, como parte de tareas prácticas dentro del equipo de investigación, una reconstrucción del perímetro exterior a través de un relevamiento digital fotogramétrico.

Las dos técnicas aplicadas permitieron generar perspectivas complementarias sobre los mismos elementos, desde las cuales se produjo, procesó y sistematizó información clave para comprender la evolución histórica del tercer claustro de la Manzana Jesuítica. Con el objetivo de construir una base documental rigurosa para su análisis y difusión, se creó un instrumento que permitió examinar en profundidad la estructura del proyecto a lo largo de sus casi 400 años.

A partir de esta documentación y de un estudio de aproximación fenomenológica al objeto, se publicó en el año 2016, bajo la coordinación del Dr. Horacio Gnemmi Bohogú, un libro-documento que desarrolla un análisis detallado del edificio desde una perspectiva metodológica renovada, complementaria a la historiografía clásica. Posteriormente, se realizaron diversas actividades culturales destinadas a difundir los resultados obtenidos.

Desde el ámbito académico, en el marco de cooperación entre la Universidad Nacional de Córdoba y la Università degli Studi di Salerno, se desarrollaron algunos trabajos que buscaron superar los resultados de la primera nube de puntos y su procesamiento aplicado en una reconstrucción digital a través de programas 2D como AutoCAD. En el año 2021, se desarrolló un proyecto titulado: "Un Modello infografico BIM per la rappresentazione e gestione dei dati di interesse storico-architettonico del Colegio Nacional de Monserrat", en el que se implementó el sistema HBIM para completar, ampliar y profundizar el desarrollo hasta entonces abordado por el equipo de investigación de Córdoba, que había quedado truncado por las dificultades presupuestarias y la disponibilidad de infraestructura y equipos especiales para el tratamiento de datos.

Estos avances constituyen un complemento significativo y mejoran los resultados obtenidos

previamente. En años recientes, la información generada ha servido como referencia y base de datos para investigaciones posteriores y aplicaciones en diversos ámbitos, reafirmando la relevancia del proyecto.

Modelización Infográfica: enfoque metodológico, aplicación y resultados

El proceso de modelización HBIM adoptó un enfoque escalonado, que abarcó desde la representación geométrica macro - registrando la volumetría general y el contexto urbano inmediato - hasta la representación micro, incluyendo detalles constructivos y ornamentales específicos. Se construyó un modelo paramétrico que integró componentes clave, como el portal de entrada (Fig. 1), así como superficies regulares e irregulares, asignando niveles de detalle (LOD) en función de la complejidad y relevancia patrimonial de cada elemento. La validación del modelo se realizó mediante análisis comparativos con la nube de puntos, utilizando herramientas como *FARO As-Built for Revit*, asegurando la precisión tridimensional y la fidelidad a la información original.

La digitalización requirió una metodología integrada, iniciando con la planificación del relevamiento digital: definición de objetivos, selección de instrumentación, adquisición y tratamiento de datos. La fase de modelización HBIM se basó en la nube 3D y empleó el enfoque *Scan-to-BIM* (Fig. 2) [Ferreira, 2021; Rocha, 2020]. Para los elementos más complejos se adoptó un modelado directo sobre la nube, mientras que los componentes más simples se reconstruyeron mediante objetos paramétricos estándar. Previamente, la nube de puntos fue decimada y segmentada en regiones homogéneas, facilitando la identificación de elementos primarios y

secundarios, optimizando el conjunto y asegurando la precisión de la modelización.

La complejidad del caso de estudio -con configuraciones espaciales irregulares, materiales heterogéneos, modificaciones no documentadas y múltiples fases constructivas- determinó la elección de este enfoque. Mediante un análisis formal, se diferenciaron las geometrías sencillas, como ventanas, muros o columnas, que podían modelarse a partir de objetos 3D estándar, de las formas complejas, como el portal o algunos elementos decorativos, que requerían un modelado directo. En el caso del Colegio, el modelado completo se realizó mediante enfoque directo basado en la misma nube para garantizar la fidelidad del registro (Fig. 3).

Para la importación de la nube georreferenciada en la plataforma BIM, fue necesario procesarla en un software intermediario: se eliminaron puntos dispersos y se generaron regiones homogéneas que facilitaron la segmentación y el modelado de zonas específicas. Este procedimiento permitió aislar cada área (segmento) de interés, preservar la gestión del conjunto y asegurar la correcta identificación de elementos primarios y secundarios.

El modelo HBIM del Colegio Nacional de Monserrat ofrece múltiples aplicaciones, desde la actualización y exportación de documentación gráfica (plantas, secciones, renders) hasta la extracción de información cualitativa y cuantitativa de cada componente, incluyendo datos materiales e históricos (Fig. 4). Esto permite planificar futuras intervenciones de conservación y contribuye a planificar estrategias de preservación del edificio a lo largo del tiempo. Además, promueve la cooperación interdisciplinaria y la accesibilidad para investigadores, estudiantes y profesionales, consolidando el HBIM como un instrumento integral para la gestión, análisis y conservación del patrimonio arquitectónico.

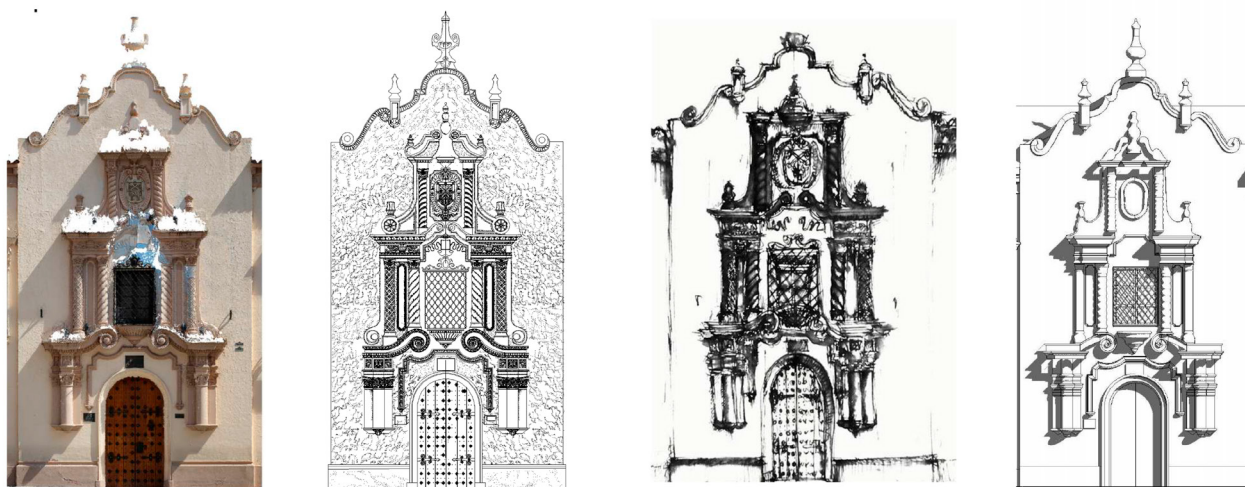


Fig. 1: Portal del Colegio Nacional de Monserrat representado en cuatro niveles de visualización: ortofoto, relevamiento matérico, boceto expresivo y modelo digital. Fuente: elaboración de Clara Amoedo Fiore y Agustina Pezza. Programa "Monserrat: Viviendo la Historia".

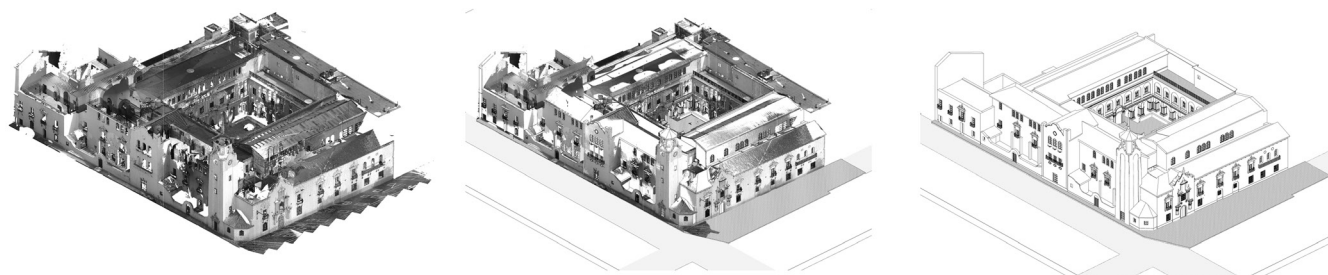


Fig. 2: Proceso Scan-to-BIM del Colegio Nacional de Monserrat: integración de nube de puntos (izquierda), superposición de nube y modelo (centro) y modelo infográfico final (derecha).

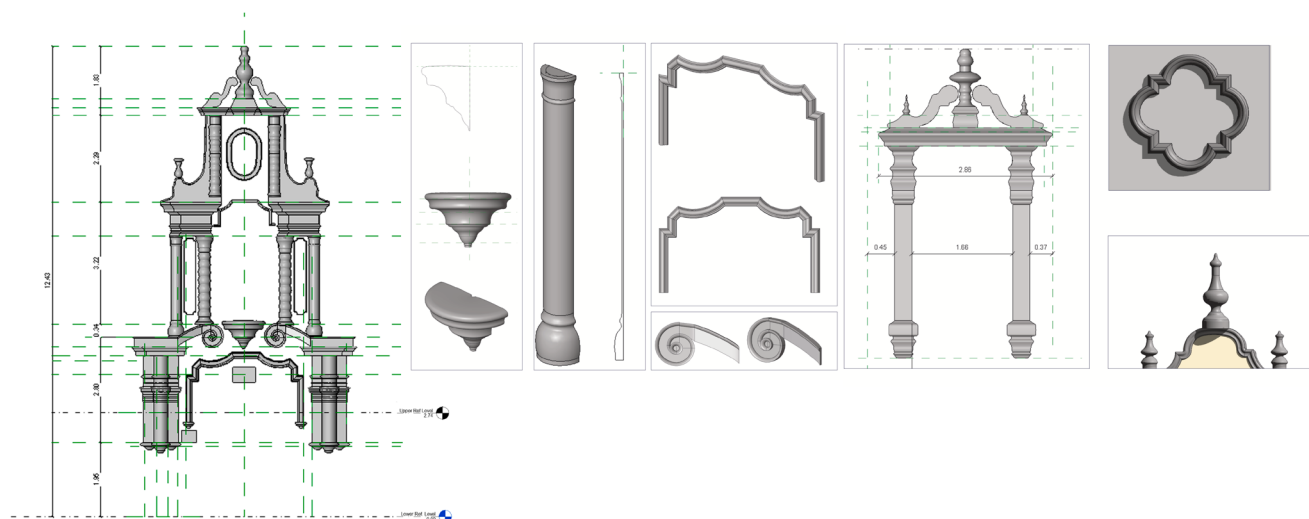


Fig. 3: Modelación geométrica de elementos arquitectónicos específicos del Colegio Nacional de Monserrat.

Reflexiones finales: tendencias y perspectivas en la gestión digital del patrimonio arquitectónico

La experiencia desarrollada con el edificio del Colegio Nacional de Monserrat evidencia el potencial del HBIM para transformar la gestión del patrimonio arquitectónico, ofreciendo un sistema integral de información consolidado y preciso. Si bien esta metodología permite generar una documentación rigurosa y contribuye de manera significativa en los procesos para abordar el tratamiento de los bienes culturales, la implementación del HBIM enfrenta desafíos importantes. La falta de una ontología estandarizada que permita codificar de manera uniforme todos los aspectos de un edificio histórico, así como las dificultades derivadas de la integración de información heterogénea proveniente de distintas fuentes y especialidades son algunos de ellos. Superar estos retos requiere la definición de protocolos claros de clasificación de datos, estrategias de interoperabilidad y capacitación técnica especializada.

Entre las propuestas futuras, se destaca la necesidad de completar el relevamiento digital de los

interiores del edificio, actualizar de manera continua el modelo con nuevos datos y difundirlo mediante plataformas digitales accesibles, de modo que pueda ser utilizado tanto en investigación académica como en formación patrimonial. Expandir el relevamiento, procesamiento de datos y extracción de resultados hacia el resto de los edificios que conforman el conjunto de la Manzana Jesuítica representaría una mirada integral para pensar en su futuro. La integración de datos técnicos, históricos y culturales en un único sistema digital permite una representación completa del edificio y aquellos adyacentes, colaborando con su gestión y abriendo nuevas posibilidades para la investigación histórica mediante líneas de tiempo digitales que ilustran cambios estructurales y ornamentales.

El HBIM constituye también una base de datos centralizada, capaz de almacenar y actualizar información geométrica, material, técnica e histórica, garantizando el diálogo y la colaboración entre diversas disciplinas y consolidando un archivo central para proyectos colaborativos de conservación. Su implementación representa una estrategia emergente que requiere inversión institucional, creación de manuales de buenas prácticas que complementen las normativas vigentes y la promoción de políticas

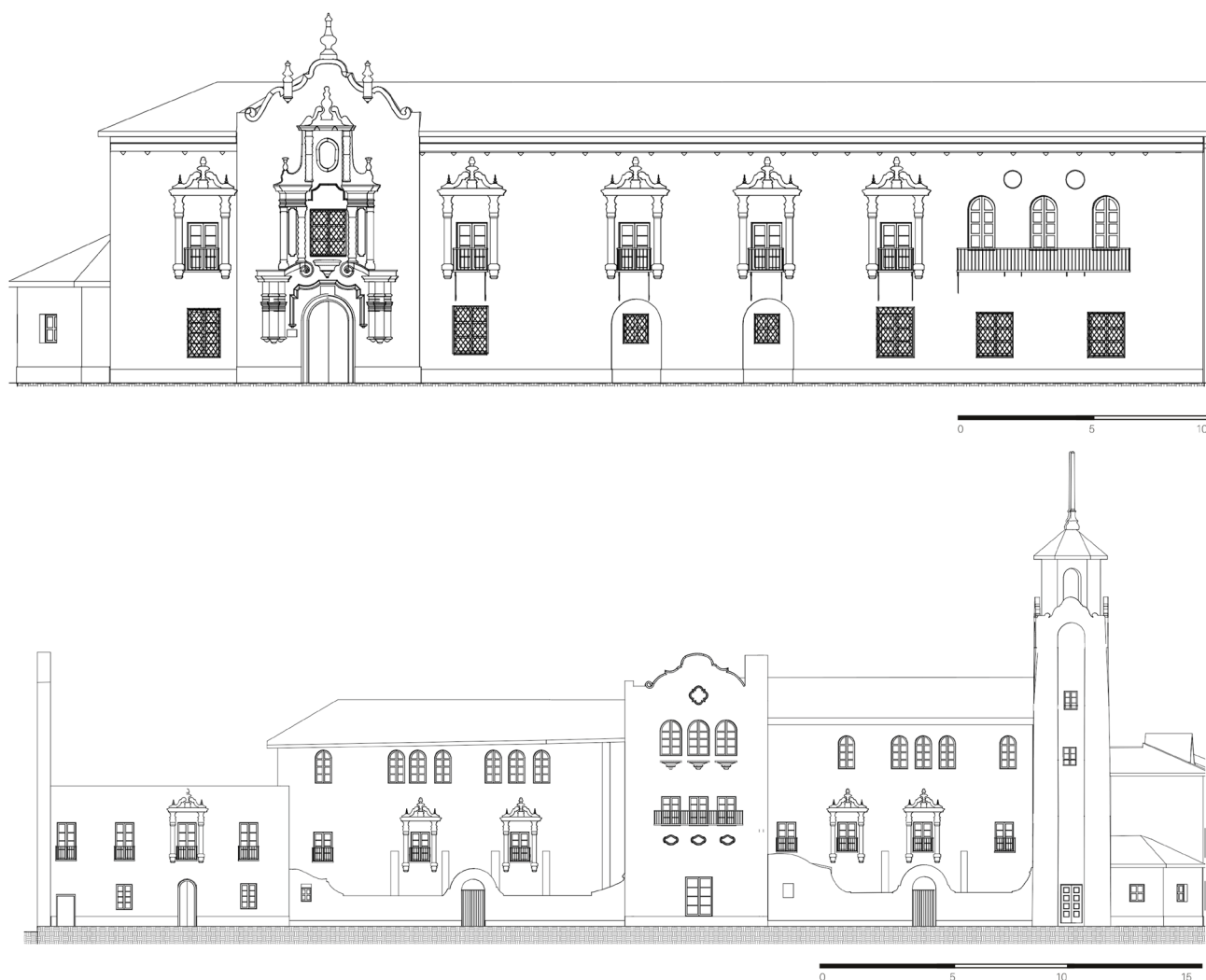


Fig. 3: Documentación técnica exportada a partir del modelo infográfico del Colegio Nacional de Monserrat.

públicas que fomenten el vínculo entre innovación tecnológica y patrimonio histórico. Esta metodología también facilita la divulgación cultural mediante tecnologías avanzadas como la realidad virtual y aumentada, permitiendo a la audiencia comprender de manera inmediata e intuitiva la totalidad del edificio y su proceso histórico-constructivo.

La integración de las técnicas digitales en la gestión patrimonial constituye un puente entre tecnología e historia -y su conservación- promoviendo un acceso democrático a la información, el trabajo interdisciplinario y la innovación; estableciendo un marco sólido como precedente y una evolución para el futuro desarrollo de la disciplina.

Agradecimientos

Se agradece especialmente al Prof. Salvatore Barba por su liderazgo en proyectos de cooperación internacional, al Dr. Horacio Gnemmi Bohogú por la dirección del proyecto "Monserrat: Viviendo

la Historia" y sus incansables esfuerzos por documentar, difundir y conservar el patrimonio arquitectónico. A la Arq. Mariana Bettoli por su valiosa orientación durante el proceso, y a todos los colaboradores que hicieron posible este trabajo. Su compromiso ha sido fundamental para avanzar en la construcción de nuevos abordajes de conocimiento y preservación de la herencia material argentina.

Bibliografía

Acosta, E., Spettu, F., & Fiorillo, F. (2022). A procedure to import a complex geometry model of a heritage building into BIM for advanced architectural representations. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-2/W1, 9–16.

Alirezaei, S., Taghaddos, H., Ghorab, K., Tak, A. N., & Alirezaei, S. (2022). BIM-augmented reality integrated approach to risk management. *Automation in Construction*, 141, 104458.

Amoedo, C., Pezza, A., Barba, S., & Seghetti, S. (2016). Relevamiento fotogramétrico y restitución del escaneo láser. Piezas gráficas. In H. Gnemmi Bohogú (Ed.), *Muros que enseñan y muestran, sugieren, recuerdan: El edificio del Colegio Nacional de Monserrat en Córdoba* (pp. 42–65). Editorial Brujas.

Balzani, M., Ferrari, L., & Raco, F. (2021). *eBIM: Existing building information modeling per edifici esistenti*. Maggioli Editore.

Barba, S., Barbato, D., di Filippo, A., Napoletano, R., & Ribera, F. (2020). BIM-oriented modelling and management of structured information for cultural heritage. In L. Agustín-Hernández, A. Vallespín Muiñesa, & A. Fernández-Morales (Eds.), *Graphical Heritage. EGA 2020* (Vol. 5, pp. 630–640). Springer International Publishing.

Chiabrando, F., lo Turco, M., & Santagati, C. (2017). Digital invasions: From point clouds to historical building object modeling (H-BOM) of a UNESCO WHL site. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII(2W3), 171–178.

Clini, P., Nespeca, R., Angeloni, R., & Mammoli, R. (2019). The integrated survey of narrow spaces and underground architecture: The case study of Campana caves bas-reliefs. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 277–282.

Doria, E., la Placa, S., & Picchio, F. (2022). From reality-based model to GIS platform. Multi-scalar modeling for irrigated landscape management in the Pavia plain. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, XLVIII(2/W1), 73–80.

Ferreya, C., Sanseverino, A., & di Filippo, A. (2021). Image-based elaborations to improve the HBIM level of development. *Dn. Building Information Modeling*,

Data & Semantics, 8, 109–120.

Fassi, F., Fregonese, L., Adami, A., & Rechichi, F. (2017). BIM system for the conservation and preservation of the mosaics of San Marco in Venice. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2W5), 229–236.

Gujski, L. M., di Filippo, A., & Limongiello, M. (2022). Machine learning clustering for point clouds optimisation via feature analysis in cultural heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 46(2/W1-2022), 245–251.

Lo Turco, M., Giovannini, E. C., & Tomalini, A. (2022). Parametric and visual programming BIM applied to museums, linking container and content. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7), 1–14.

Miceli, A., Morandotti, M., & Parrinello, S. (2020). 3D survey and semantic analysis for the documentation of built heritage: The case study of Palazzo Centrale of Pavia University. *VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, 5(1), 65–80.

Morandotti, M., Parrinello, S., Picchio, F., De Marco, R., Dell'Amico, A., Doria, E., & Galasso, F. (2019). L'Università di Pavia. I cortili e gli ambienti monumentali. Un progetto di documentazione digitale e sviluppo di sistemi di gestione per la manutenzione programmata. In *VII Convegno Internazionale ReUSO Matera - Patrimonio in divenire* (pp. 863–874).

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

Moyano, J., Carreño, E., Nieto-Julián, J. E., Gil-Arizón, I., & Bruno, S. (2022). Systematic approach to generate historical building information modelling (HBIM) in architectural restoration project. *Automation in Construction*, 143, 104551.

Parrinello, S., Bercigli, M., & Bursich, D. (2017). From survey to 3D model and from 3D model to 'videogame'. The virtual reconstruction of a Roman Camp in Masada, Israel. *DISEGNARECON*, 10(19), 11.1–11.19.

Penjor, T., Banihashemi, S., Hajirasouli, A., & Golzad, H. (2024). Heritage building information modeling (HBIM) for heritage conservation: Framework of challenges, gaps, and existing limitations of HBIM. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 35, e00366.

Puerto, A., Castañeda, K., Sánchez, O., Peña, C. A., Gutiérrez, L., & Sáenz, P. (2024). Building information modeling and complementary technologies in heritage buildings: A bibliometric analysis. *Results in Engineering*, 22, 102192.

Rocha, G., Mateus, L., Fernández, J., & Ferreira, V. (2020). A Scan-to-BIM methodology applied to heritage buildings. *Heritage*, 3(1), 47–65.

Sanseverino, A., Messina, B., Limongiello, M., & Guida, C. G. (2022). An HBIM methodology for the accurate and georeferenced reconstruction of urban contexts surveyed by UAV: The case of the Castle of Charles V. *Remote Sensing (Basel)*, 14(3688), 1–23.

Teruggi, S., Grilli, E., Fassi, F., & Remondino, F. (2021). 3D surveying, semantic enrichment and virtual access of large cultural heritage. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 8(M-1–2021), 155–162.

Tommasi, C., Achille, C., & Fassi, F. (2016). From point cloud to BIM: A modelling challenge in the cultural heritage field. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 41, 429–436.

Waisman, M. (1990). *El interior de la historia: Historiografía arquitectónica para uso de latinoamericanos*. Escala.

OBRA SALAMÓNICA EN ANÁLISIS: ESTUDIO FORMAL Y DIGITALIZACIÓN 3D DE UNA FAROLA EN LAPRIDA

Salamonic Work Under Analysis: Formal Study
And 3d Digitalization Of A Lamppost In Laprida

Authors

Laura Lopresti¹, Sergio Gavino¹, Lucas Speroni¹, Iván Suárez¹, Laura Fuertes¹

¹ Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica,
UIDET- Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada

Email

laura.lopresti@ing.unlp.edu.ar
sergio.gavino@ing.unlp.edu.ar
lucas.speroni@ing.unlp.edu.ar
isuarez@ing.unlp.edu.ar
lfuertes@ing.unlp.edu.ar

Keywords

PHOTOGRAMMETRY
3D MODEL
HERITAGE
SALAMONE
LAMPPOST

Abstract

En este trabajo se presenta el relevamiento digital y reconstrucción 3D de un modelo de farola que se encuentra en la plaza principal de la ciudad de Laprida. La misma constituye junto con las existentes en las plazas de las ciudades de Tornquist y Saldungaray, en un conjunto tipológico particular dentro de las obras desarrolladas por el arquitecto-ingeniero civil Francisco Salamone durante los años 1936 a 1940 en la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

This paper presents the digital survey and 3D reconstruction of a lamppost model located in the main square of the city of Laprida. Together with those in the squares of the cities of Tornquist and Saldungaray, it constitutes a unique typological group within the works developed by the architect-civil engineer Francisco Salamone between 1936 and 1940 in the Province of Buenos Aires, Argentina.

Introducción

Es innegable la fascinación que produce el repertorio y singularidad de la obra del arquitecto-ingeniero civil Francisco Salamone distribuidas en distintas localidades de la Provincia de Buenos Aires. Nacido en Italia, más específicamente en Leonforte y emigrado a Argentina a temprana edad, se forma en la Universidad de Córdoba, donde realiza sus primeras obras de carácter privado para luego ejecutar entre 1934 y 1936 la Municipalidad de Las Varillas; el Matadero y la Plaza Centenario de Villa María, entre otras obras públicas.

Posteriormente, entre 1936 y 1940, se lo encuentra desarrollando una vasta obra pública bajo las directivas del gobernador Dr. Manuel Fresco en la Provincia de Buenos Aires, entre las que destacan los palacios municipales y las plazas principales frente a éstos, los cementerios y los mataderos. En las localidades bonaerenses, alejadas entre sí en el extenso territorio pampeano, Salamone “desarrolla el programa de Fresco que responde a una nueva necesidad social que se desarrolla a escala comunal constituido por municipalidades, mataderos y portales de cementerios, básicamente. Las municipalidades se ubican de tal manera que se convierten en el corazón urbano de cada pueblo. En cambio, el matadero está a la entrada al pueblo, mientras que el cementerio se dispone a la salida, uno en cada extremo. Esta arquitectura ideológica y simbólica se la asocia con el trabajo, el orden y la muerte.” [Walter y Attanasio, 2023:56]

Para sus obras toma rasgos del futurismo y del expresionismo, vanguardias artísticas del principio del siglo XX, sin embargo, es en el Art Decó, donde encuentra aspectos formales inspiradores y que volverán a sus producciones notablemente características. El Art Decó es el período que comprende entre 1920 a 1940 y su denominación deriva de la primera exposición de Artes Decorativas celebrada en París en el año 1925, la cual reunió todo un repertorio de objetos, obras artísticas, piezas gráficas, con rasgos formales comunes: colores fuertes, elementos geométricos yuxtapuestos y abstracciones, inspirados entre otros, en los rayos de sol y culturas recientemente descubiertas, líneas rectas, en zigzag y escalonadas, figuras geométricas como cuadrados y círculos, volumetrías cúbicas, cónicas, repetición modulada de elementos mediante simetrías axiales, traslaciones y rotaciones. Salamone reúne la mayoría de estos motivos y los propone tanto en el planteo de sus edificios, como en lo concerniente al mobiliario y luminarias de interior y las farolas, asientos, mástiles y fuentes de las plazas frente a los palacios municipales.

En tal sentido y siguiendo el trabajo de investigación publicado por Novacovsky et. al. (2001) se

inician tareas de relevamiento digital de una de las farolas que se encuentra en

la Plaza de la ciudad de Tornquist. Los resultados de esta primera digitalización son presentados en Lopresti et. al. (2024), relatando algunas dificultades metodológicas halladas al momento de hacer el registro con un teléfono celular (Xiaomi Redmi 7 de 12 Mp.). En este nuevo trabajo se aborda una segunda instancia de estudio, centrada en la toma de muestras y el tratamiento posterior de las imágenes de otra farola, esta vez ubicada en la Plaza Pedro Pereyra de la ciudad de Laprida. La elección de este nuevo caso responde a dos objetivos principales: por un lado, ajustar la técnica de relevamiento mediante el uso de una cámara de un teléfono celular, en el marco de las denominadas técnicas *low cost*; por otro, identificar patrones morfológicos comunes entre ambas luminarias.

A partir de la experiencia previa, se incorporaron nuevos criterios técnicos en la captura fotográfica, como la realización de más anillos fotogramétricos y la mejora en la calidad de encuadre, lo cual permitió optimizar los resultados del modelo 3D. Sobre esa base, se profundizó el análisis comparativo entre ambas piezas. Aunque ciertas similitudes pueden percibirse a simple vista, la verificación de sus aspectos dimensionales mediante fotogrametría habilita una lectura más precisa del sistema proyectual, y permite ensayar una primera conclusión sobre las decisiones de diseño involucradas en esta tipología de luminaria urbana.

Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación 11/I274: *Técnicas de relevamiento de bajo costo, modelado paramétrico e impresión 3D para la producción de modelos digitales y materiales. Aplicaciones en el patrimonio cultural material, en ingeniería inversa y en la enseñanza de los sistemas de representación*. En esa línea, el estudio de luminarias urbanas mediante técnicas digitales de bajo costo no solo busca mejorar y adaptar los procedimientos técnicos, sino también generar conocimiento replicable en otros casos, promoviendo el uso accesible de herramientas digitales en ámbitos tanto académicos como profesionales.

Acerca de la ciudad de Laprida y de las obras de Salamone

La ciudad de Laprida es la cabecera del partido que lleva el mismo nombre y que se encuentra en el centro-sur de la provincia de Buenos Aires. La denominación es un homenaje a Francisco Narciso de Laprida, diputado por la provincia de San Juan y presidente del Congreso de Tucumán cuando se declaró la independencia de la Argentina, el 9 de julio de 1816. Según se relata en la página oficial de la Municipalidad del lugar, dicha ciudad fue fundada el 16 de

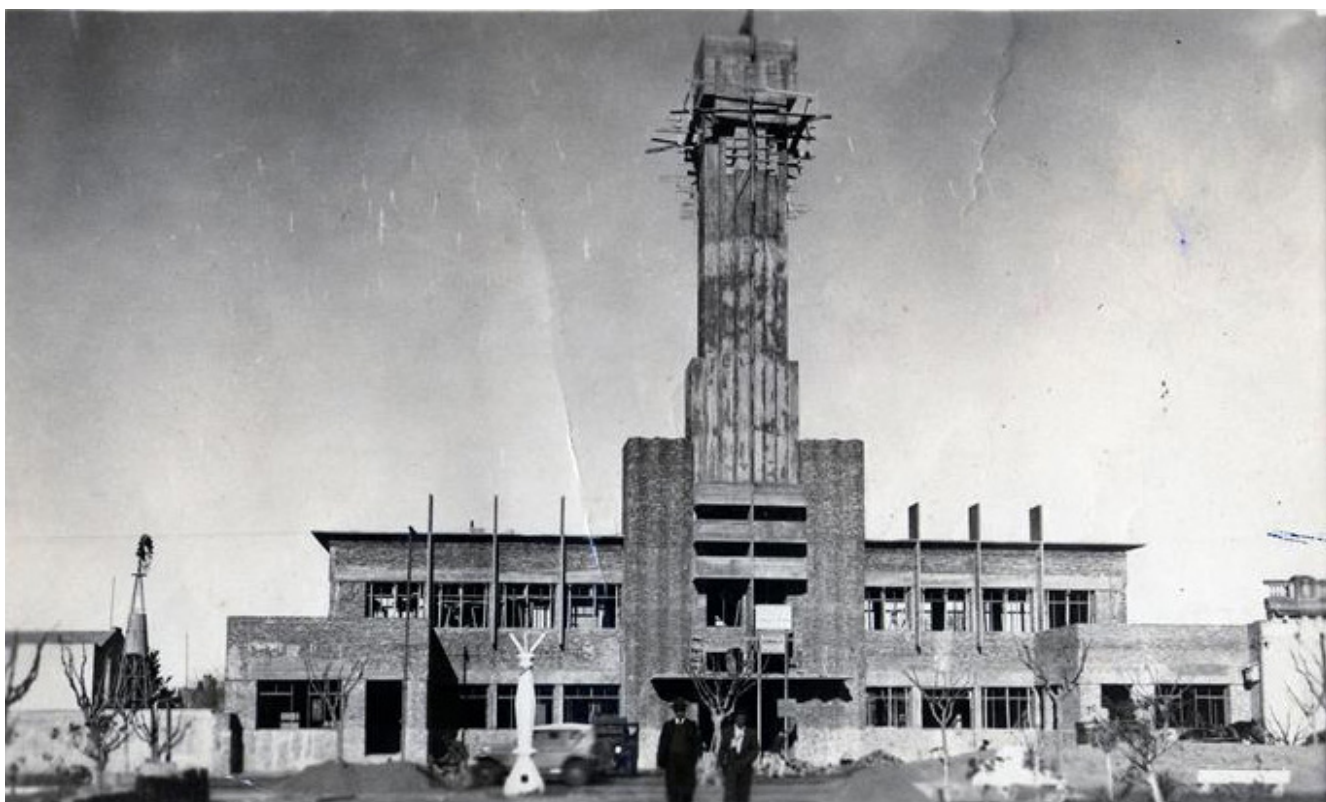


Fig. 1: Municipalidad en construcción (1937) y Farolas de la Plaza Pedro Pereyra; Laprida. Imagen de uso público.



Fig. 2: Municipalidad, Fuente, Farolas de la Plaza Pedro Pereyra; Laprida. Imágenes de los autores.

septiembre de 1889 sobre terrenos de propiedad de Pedro Pereyra quien encargó al agrimensor Adrián Philip plantear un primer trazado reservando, entre otros espacios, la ubicación del cementerio, iglesia, municipalidad, plaza. Estos trabajos fueron aprobados hacia el año 1891, realizándose una ampliación de su trazado hacia 1907.

La ciudad, posee en la actualidad una serie de obras de Salamone; en la avenida principal se encuentra el edificio del Palacio Municipal que fue inaugurado en 1939 (Fig. 1); frente a éste la Plaza Pedro Pereyra con

una fuente, que originalmente fue mástil y que actualmente no contiene agua, sino maceteros con plantas y dentro del conjunto de farolas, la que se encuentra en el lado opuesto al Palacio Municipal y frente a la Iglesia es el objeto estudiado (Fig. 2). Saliendo por el extremo sur de la ciudad se encuentran el Cementerio y el Matadero (Fig. 3). Estas obras son Patrimonio Cultural del Municipio, Patrimonio Cultural Provincial y Bien de Interés Histórico Nacional. Completan el conjunto el Corralón Municipal y la delegación municipal del pueblo rural San Jorge, ubicado a 50 km de



Fig. 3: Matadero y Portal del Cementerio de Laprida. Imágenes de los autores.

distancia de esta ciudad. Desde el año 2013 funciona un Centro de Interpretación, entidad que preserva y difunde dichas obras.

Digitalización y Modelado 3d

Tal como ya se ha comentado precedentemente, este trabajo relata un relevamiento efectuado en la ciudad de Laprida de una farola, la cual posee características morfológicas afines con las que se encuentran en la ciudad principal de la ciudad de Tornquist (Fig.4). La solución tanto de la base, como del fuste y del remate superior muestran soluciones similares en cuanto a su volumetría, formada principalmente por pirámides truncadas de base hexagonal, encaradas mediante sus respectivas bases.

Para este segundo relevamiento fotográfico se empleó la cámara de un teléfono celular Xiaomi modelo Redmi 13C, con una resolución de 50 Mp (2288 x 4080 píxeles). Las imágenes se capturaron sin el uso de flash, aprovechando la iluminación difusa de un día nublado, condición que permitió reducir los contrastes excesivos entre zonas iluminadas y en sombra. Durante la toma se obtuvo un total de 546 fotografías, de las cuales se efectuó una

selección cuidadosa en función del criterio de superposición, buscando alcanzar un solapamiento del 80% entre imágenes consecutivas, condición fundamental para garantizar la correcta reconstrucción tridimensional.

De esa depuración, se seleccionaron las siguientes imágenes correspondientes a los distintos anillos fotogramétricos generados:

- Fuste: 50 imágenes (aproximadamente una toma cada 7°),
- Base: 50 imágenes (aproximadamente una toma cada 7°),
- Luces: 50 imágenes (aproximadamente una toma cada 7°),
- Vista completa: 170 imágenes (aproximadamente una toma cada 2°).

El procesamiento de las fotografías se llevó a cabo con el software Agisoft Metashape®, empleando un flujo de trabajo orientado a la generación de modelos de alta densidad. Se realizó el procesamiento de cada anillo de fotografías por separado. El modelo obtenido a partir del anillo 'Vista completa' sirvió como referencia principal para el alineamiento del resto de los anillos.

Para el primer procesamiento fue estipulada una precisión alta (*high*), con configuración genérica, y se establecieron 10.000 puntos de enlace. A



Fig. 4: Detalles de los diferentes sectores de las farolas de Tornquist y de Laprida. Imágenes de los autores.

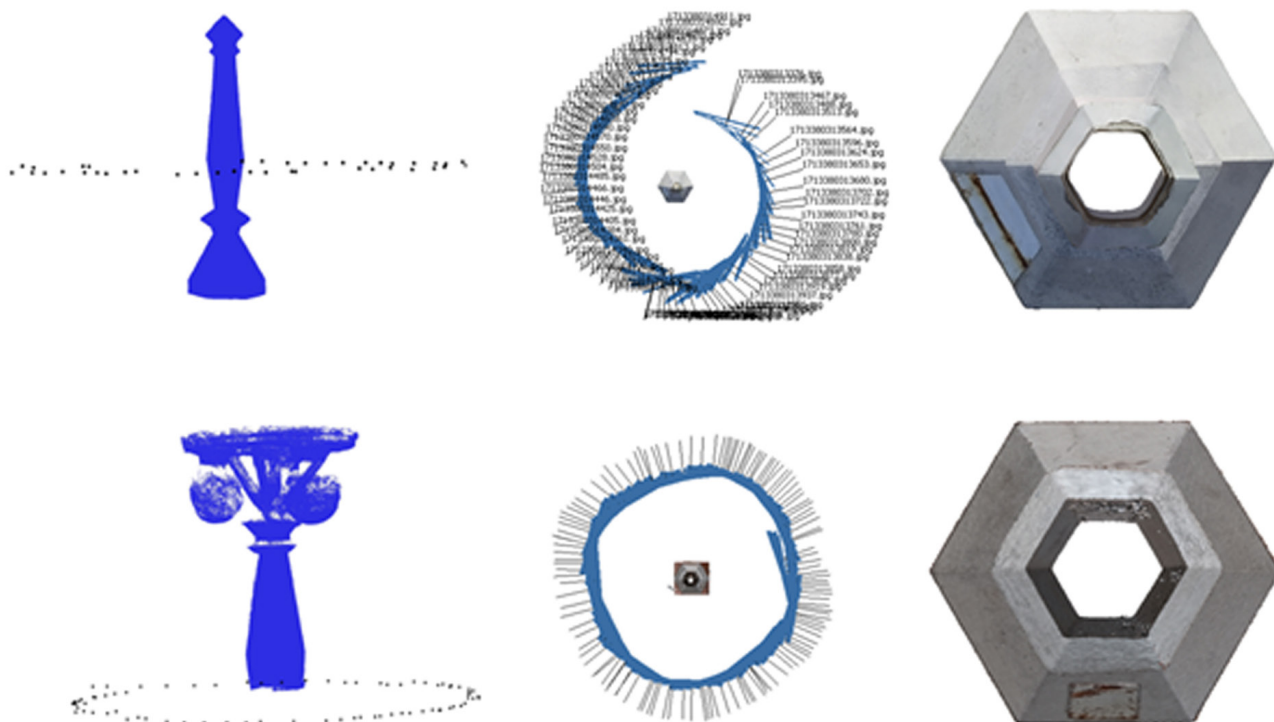


Fig. 5: Imágenes de procesamiento de luminarias Tornquist y Laprida, respectivamente. Imágenes de los autores.

continuación, la nube de puntos densa fue generada también con precisión alta y un filtro de profundidad en modo moderado. Para la generación de la malla se definieron los siguientes parámetros: tipo de superficie arbitrario, resolución alta e interpolación habilitada por defecto.

Se trabajó con una resolución de la nube de puntos de entre 1.91 y 0.83 mm/pix

Para ilustrar los resultados obtenidos en este trabajo se muestran en la figura 5 imágenes de la farola

relevada en la ciudad de Tornquist y el relevamiento actual realizado en la ciudad de Laprida.

Resultados

El modelo de malla obtenido presenta un ajuste significativamente mejor en comparación con el primer relevamiento realizado en Tornquist. Si bien

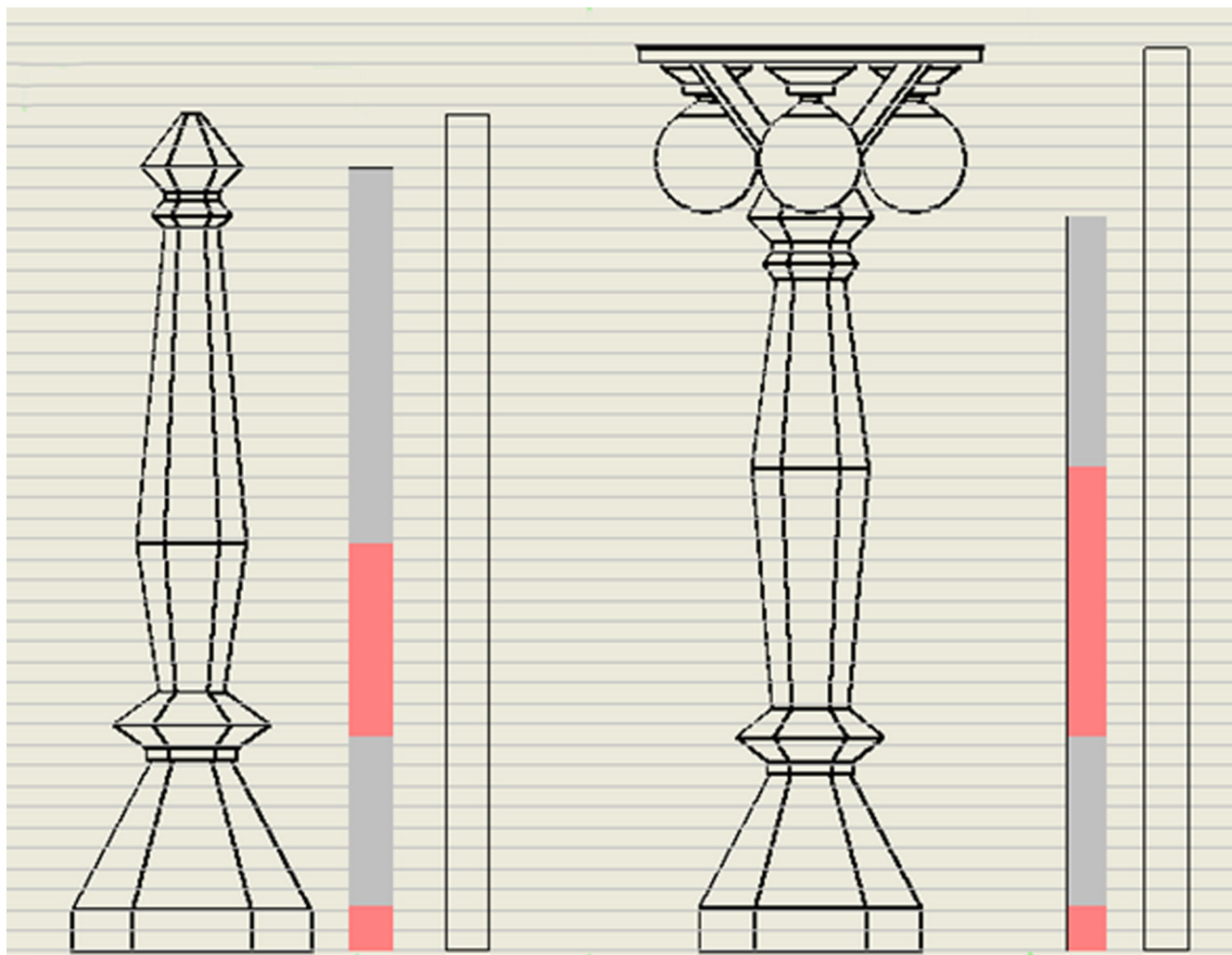


Fig. 6: Proporciones de ambas luminarias Tornquist y Laprida, respectivamente. Imágenes de los autores.

persisten zonas incompletas en la parte superior de la farola, esto también se observaba en el relevamiento anterior y responde a la dificultad de capturar imágenes a esa altura. Además, se suma la obstrucción parcial generada por la propia luminaria.

En la vista superior (Fig. 5), se aprecia una mejora notable en la reconstrucción tridimensional del hexágono. Más importante aún se destaca que el eje de la farola se mantiene recto sin torsión, a diferencia del modelo de la luminaria de Tornquist.

El modelo fotogramétrico obtenido permitió una reconstrucción tridimensional precisa y rápida dentro del entorno CAD, y además ha permitido integrarlo directamente en el flujo de trabajo de fabricación digital. El modelo 3D impreso, junto con el modelo de la farola de Tornquist, han sido empleados como recurso para la difusión y valorización del patrimonio salamónico.

En cuanto a sus proporciones, las secciones hexagonales se mantienen constantes en los distintos ejemplares analizados; no obstante, las alturas presentan variaciones. Las bases conservan una similitud

proporcional, mientras que las diferencias principales se localizan en el fuste y el remate (Fig. 6).

La secuencia observada de farolas revela una clara pertenencia a una misma familia morfológica, a pesar de las modificaciones leves en la zona del fuste. Aún no ha sido verificado si estas diferencias responden a razones estructurales, a condiciones de fabricación, a decisiones ligadas a su localización —dado que los ejemplares corresponden a plazas de las localidades de Tornquist y Laprida, separadas entre sí por 179 km— o a cuestiones identitarias. Aunque ambas fueron emplazadas hacia los años 1937/1938, podría tratarse de una adaptación específica a cada contexto urbano.

A Modo De Conclusión

Este segundo caso relevado de la farola permitió ajustar la metodología de la toma muestral del primero realizado en Tornquist. Las condiciones de luz garantizaron mejoras sustanciales en el registro de las imágenes.

Se lograron mayores ajustes dimensionales, respondiendo con mayor rango de precisión a los aspectos geométricos que reúne esta morfología de farola dentro de la obra de Salamone. Este procedimiento permitió arribar a un modelo digital con una precisión dimensional del orden de los 12 mm. Cabe mencionar que, mientras en el primer relevamiento se utilizaron marcadores para el ajuste del modelo fotogramétrico, en el presente relevamiento no fue necesario.

Dado que no se cuenta con planos originales del bien relevado, se observan resultados acordes con los obtenidos previamente por otros investigadores.

Obtenido este segundo caso de Laprida, se espera concretar próximamente el relevamiento de la farola en la Plaza Independencia de Saldungaray, completando así la tipología de objeto, el cual, con diversas variantes dimensionales, constituyen un agrupamiento morfológico distintivo de la obra salamónica en las plazas principales de estos tres emplazamientos ubicados en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

Bibliografía

Lopresti, L.; Gavino, S.; Speroni, L.; Fuertes, L. (2025) "Fotogrametría y modelado 3D de farola en la plaza remodelada por Salamone en Tornquist" en Empler, T.; Caldarone, A.; Núñez, J; Tuzi, S. (cur.) *3D Modeling & BIM Argentina para la transformación digital*, Milano: DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile. pp 235-244.

Novacovsky, A.; Roma, S.; Paris Benito, F. (ed.) (2001) *Francisco Salamone en la Provincia de Buenos Aires*. Tandil: Grafikart.

Traversa, L. P.; Rosato, V.G.; Iloro, F. (2017). *La obra del Ing. Arq. Francisco Salamone en la Provincia de Buenos Aires (1936-1940): Anales LEMIT. Serie III, Año 3, n° 9*. La Plata: editorial Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica.

Walter, A.; Attanasio, M. "El lenguaje Art Déco de Salamone en Laprida desde una mirada compositiva-geométrica y simbólica" en *Cuaderno 192 | Centro de Estudios en Diseño y Comunicación* (2023/2024). pp 55-66 ISSN 1668-0227.

<https://www.laprida.gov.ar/index.php/contenido/p/historia#:~:text=Fundado%20el%2016%20de%20septiembre,la%20independencia%20de%20nuestro%20pa%C3%ADs>.

Il volume esplora i nuovi sviluppi nella rappresentazione e modellazione digitale del patrimonio architettonico e museale, con un focus sul Building Information Modeling (BIM) e le sue applicazioni innovative come HBIM e Digital Twin. I contributi documentano come queste tecnologie stiano evolvendo da strumenti documentativi a infrastrutture dinamiche per la conservazione, gestione e valorizzazione del patrimonio. Si analizzano esperienze internazionali nei settori del restauro, della museologia e della ricerca storica, sottolineando l'importanza dell'interoperabilità, dell'automazione e dell'intelligenza artificiale.

The volume explores new developments in the digital representation and modeling of architectural and museum heritage, focusing on Building Information Modeling (BIM) and its innovative applications such as HBIM and Digital Twin. The contributions document how these technologies are evolving from documentation tools to dynamic infrastructures for the conservation, management, and enhancement of heritage. International experiences in restoration, museology, and historical research are analyzed, emphasizing the importance of interoperability, automation, and artificial intelligence.