

COLLANA

3D MODELING & BIM

# PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL

A CURA DI: TOMMASO EMLER, JAVIER NUÑEZ, ADRIANA CALDARONE , STEFANIA TUZI



TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

---

A cura di:  
Adriana Caldarone  
Tommaso Emler  
Javier Nunez  
Stefania Tuzi



TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

**3D Modeling & BIM ARGENTINA - PARA LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL**

**Curatori:** Tommaso Emler, Adriana Caldarone, Javier Nunez, Stefania Tuzi

**Collana:** 3D Modeling & BIM

**Publisher:** DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile

**Editing:** Giulia Robotti, Silvia Ridolfi

**Acknowledgment:** Pubblicato con il contributo dei Fondi di Ateneo per la Ricerca di Base dell'Università degli Studi di Salerno

## 3D MODELING & BIM

Para la transformación digital

© 2025 Quine s.r.l.\* - Open access

ISBN 979-12-5505-193-0

Quine s.r.l.

Via G. Spadolini, 7

20141 Milano

Tel. 02.881841

[www.build.it](http://www.build.it)

\* Quine s.r.l. fa parte di LSWR GROUP

Il volume raccoglie i contributi, dei relatori e degli studiosi, pervenuti in occasione del Workshop 3DModeling&BIM. Para la transformación digital, che si è svolto a Buenos Aires in data 8 maggio 2024. 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 3D modeling & BIM. For a digital transformation, which took place in Buenos Aires on May 8<sup>th</sup> 2024. Contributions are printed under double blind review mode.

El volumen recoge las contribuciones de los ponentes y académicos presentadas en el Taller 3DModeling&BIM. Para la transformación digital, que se celebró en Buenos Aires el 8 de mayo de 2024. La evaluación de las contribuciones publicadas se realizó mediante el proceso de revisión por pares doble ciego (double blind review).

#### Organizing Committee

Ing. Salvatore Barba (Addetto Scientifico Ambasciata Italiana a Buenos Aires)

Arc. Adriana Caldarone (DSDRA – Sapienza)

Arc. María Laura Calle (SCA)

Arc. Rita Comando (SCA)

Arc. Tommaso Empler (DSDRA – Sapienza)

Arc. Javier Nuñez (BIM – FADU)

Arc. Silvia Szuchman (BIM – FADU)

Arc. Stefania Portoghesi Tuzi (DSDRA – Sapienza)

Arc. Mariana Tambussi (SCA)

#### Scientific Committee

- Arc. Ing. Jimena Alvarez (UNR)
- Ing. Salvatore Barba (Addetto Scientifico Ambasciata Italiana a Buenos Aires)
- Arc. Adriana Caldarone (DSDRA – Sapienza)
- Arc. María Laura Calle (SCA)
- Arc. Rita Comando (SCA)
- Ing. Andrea di Filippo (UNISA)
- Arc. Tommaso Empler (DSDRA – Sapienza)
- Ing. Luciano Gorosito (UTN)
- Arc. Paula Grandotto (FADU, MOP)
- Arc. Alejandro Moreira (UNL)
- Arc. Javier Nuñez (BIM – FADU)
- Ing. Joel Oggero (UTN)
- Arc. Maria Victoria Pasini (FADU, MOP)
- Arc. Bernardo Pergamo (UNC)
- Arc. Stefania Portoghesi Tuzi (DSDRA – Sapienza)
- Arc. Lucrecia Real (Autodesk Expert Elite)
- Arc. José María Saleme (UNT)
- Arc. Ana Licia Sanchez (UNSJ)
- Arc. Silvia Szuchman (FADU)
- Arc. Mariana Tambussi (SCA)

# INDICE

## SUMMARY

---

PREMESSA Javier Nuñez	11
PRESENTAZIONE Salvatore Barba	15
INTRODUZIONE Tommaso Emler	19

---

INSTRUMENTO INFORMATIVO DIGITAL PARA LA VALORIZACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO — <i>DIGITAL INFORMATION TOOL FOR THE ENHANCEMENT OF ARCHITECTURAL HERITAGE</i> Allende Agostina Neftalí, Carla Ferreyra, Susana Martínez Mónica	25
STRUCTURED-LIGHT 3D SCANNING PER LA MODELLAZIONE DEGLI APPARATI DECORATIVI — <i>STRUCTURED-LIGHT 3D SCANNING FOR THE MODELING OF DECORATIVE APPARATUS</i> Sara Antinozzi, Luca Speroni Ezequiel, Laura Lopresti Andrea	35
MONUMENTOS DEL PAISAJE COSTERO. EL CÓDIGO ROMANO-CARRATELLI Y LAS TORRES DE CALABRIA ULTRA. — <i>MONUMENTS OF THE COASTAL LANDSCAPE. THE ROMAN-CARRATELLI CODE AND THE TOWERS OF CALABRIA ULTRA.</i> Arena Marinella, Nicola La Vitola	45

<p>IL PROCESSO SCAN TO BIM PER LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO. LA CHIESA BIZANTINA DI SAN GIOVANNELLO A GERACE (RC)</p> <p>—</p> <p><i>THE SCAN-TO-BIM PROCESS FOR THE ENHANCEMENT OF ARCHITECTURAL HERITAGE.</i> <i>THE BYZANTINE CHURCH OF SAN GIOVANNELLO IN GERACE (RC).</i></p> <p>Arena Marinella, Serena Bugliesi, Daniele Colistra</p>	55	<p>GRAMMATICA CODIFICATA NEI MODELLI DI ARCHEOLOGIA INDUSTRIALE. IL TEATRO INDIA A ROMA</p> <p>—</p> <p><i>CODIFIED GRAMMAR IN THE MODELS OF INDUSTRIAL ARCHAEOLOGY. THE INDIA THEATRE IN ROME</i></p> <p>Emanuela Chiavoni, Francesca Porfiri, Federico Rebecchini, Maria Belen Trivi</p>	117
<p>GESTIONE DEI MODELLI OPEN H-BIM PER L'INTEROPERABILITÀ DEI DATI</p> <p>—</p> <p><i>MANAGEMENT OF OPEN H-BIM MODELS FOR DATA INTEROPERABILITY</i></p> <p>Stefano Bertocci, Marco Ricciarini, Francesca Galasso</p>	69	<p>L'AR UN PONTE TRA PASSATO E PRESENTE. IL PARCO ARCHEOLOGICO DI METAPONTO E GLI IPOGEI LAGRATA A CANOSA DI PUGLIA.</p> <p>—</p> <p><i>AR A BRIDGE BETWEEN PAST AND PRESENT. METAPONTO ARCHAEOLOGICAL PARK AND LAGRATA HYPOGEA IN CANOSA DI PUGLIA.</i></p> <p>Antonio Conte, Marianna Calia, Roberto Pedone, Rossella Laera, Emanuela Borsci, Ali Yaser Jafari, Valerio Maria Sorice</p>	127
<p>HBIM PER LA CONSERVAZIONE E VALORIZZAZIONE DELLA BASILICA DI SAN MINIATO AL MONTE: UN APPROCCIO INNOVATIVO ALLA GESTIONE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO APPROFONDITO NEL CASO STUDIO DEL TABERNACOLO DI MICHELOZZO</p> <p>—</p> <p><i>HBIM FOR THE CONSERVATION AND ENHANCEMENT OF THE BASILICA OF SAN MINIATO AL MONTE: AN INNOVATIVE APPROACH TO THE MANAGEMENT OF ARCHITECTURAL HERITAGE EXPLORED IN THE CASE STUDY OF MICHELOZZO'S TABERNACLE.</i></p> <p>Matteo Bigongiari, Giovanni Pancani, Andrea Pasquali, Luca Chiavacci</p>	81	<p>DAL BUILDING INFORMATION MODELING AL BETTER INFORMATION MANAGEMENT/METHODOLOGY</p> <p>—</p> <p><i>FROM BUILDING INFORMATION MODELING TO BETTER INFORMATION MANAGEMENT/METHODOLOGY</i></p> <p>Tommaso Emler</p>	139
<p>LEVEL OF SUSTAINABILITY: PROCEDURE HBIM A CONFRONTO PER LA SOSTENIBILITÀ</p> <p>—</p> <p><i>LEVEL OF SUSTAINABILITY: HBIM PROCEDURES COMPARED FOR SUSTAINABILITY</i></p> <p>Adriana Caldarone</p>	93	<p>"MASCHERE PARLANTI: DALLA MODELLAZIONE DIGITALE AL FACIAL MOTION CAPTURE PER LA FRUIZIONE INCLUSIVA"</p> <p>—</p> <p><i>"SPEAKING MASKS: FROM DIGITAL MODELING TO FACIAL MOTION CAPTURE FOR INCLUSIVE EXPERIENCE"</i></p> <p>Francesca Fatta, Sonia Mollica, Francesco Stilo</p>	153
<p>INVESTIGATIVA, SURREALE, EVERSIVA. LA MODELLAZIONE 3D NELLA COMPrensIONE DELLO SPAZIO CONTINUO DELLE SCALE APERTE NAPOLETANE.</p> <p>—</p> <p><i>INVESTIGATIVE, SURREAL, SUBVERSIVE. 3D MODELING IN THE UNDERSTANDING OF THE CONTINUOUS SPACE OF NEAPOLITAN OPEN STAIRCASES.</i></p> <p>Carlos Campos, Alessandra Cirafici</p>	105	<p>MODELLAZIONE PARAMETRICA PER LA RICOSTRUZIONE DELLE STRUTTURE DI COPERTURA DEL C.D. TEMPIO DI VENERE A BAIA.</p> <p>—</p> <p><i>PARAMETRIC MODELING FOR THE RECONSTRUCTION OF THE ROOFING STRUCTURES OF THE SO-CALLED TEMPLE OF VENUS IN BAIA.</i></p> <p>Riccardo Florio, Raffaele Catuogno, Teresa Della Corte, Anna Sanseverino, Caterina Borrelli, Victoria Ferraris</p>	165

HERRAMIENTAS BIM EN LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA: EL CASO CASA DEL ARROYO — <i>BIM TOOLS IN PUBLIC ADMINISTRATION: THE CASE OF CASA DEL ARROYO</i> Guillermo Frontera, Diego A. Rojas, Priscila Ibañez Giardelli, Marcelo Marcev	177	FOTOGRAMETRÍA Y MODELADO 3D DE FAROLA EN LA PLAZA REMODELADA POR SALAMONE EN TORNQUIST — <i>PHOTOGRAMMETRY AND 3D MODELING OF THE STREET LAMP IN THE SQUARE REDESIGNED BY SALAMONE IN TORNQUIST</i> Laura Lopresti, Sergio Gavino, Lucas Speroni, Laura Fuertes	235
DOCUMENTACIÓN DE LA BASÍLICA Y SANTUARIO NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO CON FOTOGRAMETRÍA A TRAVÉS DE MODELADO BIM — <i>DOCUMENTATION OF THE BASILICA AND SANCTUARY OF OUR LADY OF THE ROSARY THROUGH PHOTOGRAMMETRY AND BIM MODELING</i> Cecilia Tortone, Claus Bengolea, Jose Gómez Senn Ibañez	191	ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA BIM APLICABLE A LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL — <i>BIM TEACHING STRATEGY APPLICABLE TO THE CIVIL ENGINEERING DEGREE</i> Joel Oggero	245
APROXIMACIÓN A LA PARAMETRIZACIÓN DE UNA ESCALERA COMO ESTRATEGIA DE APRENDIZAJE ARQUITECTÓNICO — <i>APPROACH TO THE PARAMETRIZATION OF A STAIRCASE AS AN ARCHITECTURAL LEARNING STRATEGY</i> Fco-Javier González-Pérez, Luis Giménez-Mateu, Tommaso Empler	205	LA FORMA DELLA MEMORIA. RILIEVI E MODELLI 3D PER IL CIMITERO DELLA RECOLETA, BUENOS AIRES — <i>THE SHAPE OF MEMORY. SURVEYS AND 3D MODELS FOR THE RECOLETA CEMETERY, BUENOS AIRES</i> Sandro Parrinello, Giulia Porcheddu	255
MODELO DIGITAL PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DEL PATRIMONIO. LA GROTTA DI SAN MICHELE ARCANGELO. — <i>DIGITAL MODEL FOR EFFICIENT HERITAGE MANAGEMENT. THE GROTTA DI SAN MICHELE ARCANGELO.</i> Rocío Lamas	213	METODOLOGIE E STRUMENTI GIS-HBIM PER IL RILIEVO E LA CONOSCENZA DEL PATRIMONIO RURALE MODERNO — <i>GIS-HBIM METHODOLOGIES AND TOOLS FOR SURVEYING AND UNDERSTANDING MODERN RURAL HERITAGE</i> Raffaele Pontrandolfi, Antonio Bixio	267
MODELOS DE INFORMACIÓN PARA VALORIZAR LA ARQUITECTURA ITALIANA: EL CLUB ITALIANO DE ROSARIO. — <i>INFORMATION MODELS TO ENHANCE ITALIAN ARCHITECTURE: THE ITALIAN CLUB OF ROSARIO.</i> Marco Limongiello, Hector Carlos Lomonaco, Carolina Rainero, Paula Lomonaco, Andrea di Filippo	225	PARAMETRIZZAZIONE E HBIM NELLA CONSERVAZIONE DELL'ARCHITETTURA MODERNA BRASILIANA — <i>PARAMETRIZATION AND HBIM IN THE CONSERVATION OF BRAZILIAN MODERN ARCHITECTURE</i> Silvana da Rocha Rodrigues, Patrícia Nunes da Silva, Tommaso Empler	279

# PREMESSA

# FOREWORD

Javier Nuñez

---

La preservación del patrimonio arquitectónico y cultural ha adquirido una importancia creciente en el contexto contemporáneo, donde la acelerada urbanización y los cambios climáticos, entre otros factores, amenazan la integridad de estos valiosos edificios históricos que son testimonios palpables de la historia y la cultura de las sociedades. La necesidad de implementar estrategias efectivas para su conservación y gestión es ineludible, no solo por el valor intrínseco que poseen como elementos fundamentales para el entendimiento de nuestra identidad colectiva y memoria social, sino también por su potencial como motores de desarrollo sostenible a través del turismo cultural.

En este contexto, la digitalización emerge como un recurso crucial para abordar los desafíos contemporáneos asociados con la conservación y gestión efectiva de estos bienes culturales, permitiendo crear representaciones precisas y accesibles del patrimonio construido mediante técnicas avanzadas como relevamiento por nube de puntos (tanto láser como fotogramétrico) y metodologías vanguardistas como el Modelado de Información del Edificio (BIM), junto con enfoques interdisciplinarios que combinan arquitectura, ingeniería, relevamientos mediante nubes de puntos, historia del arte, preservación y restauración, entre otras disciplinas, facilitan la documentación exhaustiva y el análisis profundo de estas estructuras históricas y conforman una nueva metodología que se ha denominado HBIM (Heritage BIM).

Esta metodología no solo promueve una mejor comprensión estética y funcional de los edificios patrimoniales, sino que también permite abordar eficazmente las intervenciones necesarias para su conservación.

Asimismo, la integración de tecnologías inmersivas —como la realidad virtual (RV) y aumentada (RA)— ofrece nuevas posibilidades para la difusión del patrimonio cultural. Estas herramientas no solo enriquecen las experiencias educativas e interpretativas relacionadas con estas

estructuras históricas, sino que también fomentan un mayor compromiso público hacia la preservación del patrimonio.

El presente documento tiene como objetivo presentar al Modelado de Información del Edificio Histórico (HBIM) como la metodología apropiada para resolver la apremiante necesidad de adoptar enfoques interdisciplinarios que integren herramientas tecnológicas avanzadas y conocimientos especializados para asegurar que el patrimonio cultural siga siendo accesible e interpretado adecuadamente por las generaciones presentes y futuras.

Invito al lector a sumergirse en los trabajos expuestos en este documento con la esperanza de inspirar nuevas iniciativas hacia una valorización efectiva, integral y metodológica del rico legado arquitectónico que poseemos.

The preservation of architectural and cultural heritage has gained increasing importance in the contemporary context, where rapid urbanization and climate change, among other factors, threaten the integrity of these valuable historical buildings that are tangible testimonies of the history and culture of societies. The need to implement effective strategies for their conservation and management is unavoidable, not only because of their intrinsic value as fundamental elements for understanding our collective identity and social memory, but also for their potential as engines of sustainable development through cultural tourism. In this context, digitalization emerges as a crucial resource to address the contemporary challenges associated with the conservation and effective management of these cultural assets. It allows for the creation of accurate and accessible representations of built heritage through advanced techniques such as point cloud surveying (both laser and photogrammetric) and cutting-edge methodologies such as Building Information Modeling (BIM), along with interdisciplinary approaches that combine architecture, engineering, point cloud surveys, art history, preservation, and restoration, among other disciplines. These approaches facilitate the thorough documentation and deep analysis of these historical structures and form a new methodology known as HBIM (Heritage BIM).

This methodology not only promotes a better aesthetic and functional understanding of heritage buildings, but it also allows for effective intervention in their conservation.

Moreover, the integration of immersive technologies—such as virtual (VR) and augmented reality (AR)—offers new possibilities for the dissemination of cultural heritage. These tools not only enrich educational and interpretative experiences related to these historical structures, but they also foster greater public engagement with heritage preservation.

The aim of this document is to present Historical Building Information Modeling (HBIM) as the appropriate methodology to address the pressing need for interdisciplinary approaches that integrate advanced technological tools and specialized knowledge to ensure that cul-

tural heritage remains accessible and appropriately interpreted by present and future generations. I invite the reader to immerse themselves in the works presented in this document with the hope of inspiring new initiatives towards an effective, comprehensive, and methodological enhancement of the rich architectural legacy we possess.



# PRESENTAZIONE

## FOREWORD

Salvatore Barba

Negli ultimi anni siamo stati spettatori – o attori – di un profondo cambiamento del settore AEC, prima nella metodologia e poi nella pratica; abbiamo infatti assistito a un graduale processo di abbandono del cosiddetto disegno assistito dal calcolatore in favore della modellazione parametrica BIM. In merito, alcuni hanno lamentato nuovamente la potenziale perdita di una preziosa tradizione grafica, contrapponendosi agli entusiasti della prima ora che profetizzavano la panacea di tutti i mali del settore grazie a questo nuovo approccio al disegno. Un'attenta considerazione della metodologia – analogamente per una tecnologia –, porterà il lettore al convincimento che il cambiamento ha una dimensione 'sociale' almeno pari a quella tecnica; pertanto, tra i due schieramenti, scettici e devoti, entrambi hanno probabilmente un po' di ragione.

Venendo al BIM, questo offre un percorso verso un approccio sostenibile alla digitalizzazione che è più di una sorta di *pezza a colori* dell'ultimo minuto. La modellazione parametrica consente, 'sulla carta', di tenere sotto controllo tutti gli aspetti della costruzione fin dalle primissime fasi del suo ciclo di vita, ad esempio dal dimensionamento strutturale ai modelli energetici passando per l'organizzazione funzionale degli spazi. Anche in caso di documentazione del patrimonio esistente, caratterizzato dalla sua unicità, questa metodologia – declinata nelle varianti dell'HBIM o dell'eBIM, intimamente legate al rilievo dell'architettura – permette di garantire la tracciabilità dei contenuti informativi che confluiranno nel modello finale, ciò pur evidenziando l'attuale complessità che si riscontra nel restituire un modello relativo a una fase avanzata del ciclo di vita di un'architettura.

Il BIM potrebbe essere quindi inteso come uno strumento di disegno quantitativo, una metodologia in evoluzione che sta seguendo almeno due direzioni. Una di queste è estrinseca ai dettami di ogni strumento o piattaforma software: Finith Jernigan l'aveva definita *Big BIM*. In questo caso l'acronimo tende a enfatizzare gli impatti della model-

lazione delle informazioni, della generazione di un modello virtuale aperto e interoperabile che genera (o almeno favorisce o dovrebbe favorire) sistemi più aperti.

Nella pratica il BIM si sta banalmente evolvendo anche come ambiente software, quello che Jernigan ha definito *Little BIM*. Gli oggetti, gli strumenti, i comandi, le procedure, le caratteristiche e le capacità di una determinata applicazione sono spinti, perfezionati e resi più potenti e robusti dagli sviluppatori e dagli stessi utenti. Mentre il BIM, considerato come una metodologia va cambiando, emergono di conseguenza nuove migliori pratiche.

Alla promessa di una maggiore efficacia e di strumenti più potenti si contrappongono però spesso ragionevoli preoccupazioni verso il nuovo. La decisione di non aggiornare un dato software è per lo più ponderata sulla valutazione di non rallentare o addirittura annullare i flussi di lavoro, piuttosto che sulla base di una semplicistica manifestazione di nostalgia. Alla nota resistenza all'adozione di nuovi strumenti digitali, immaginate l'opposizione a un approccio completamente nuovo; i costi dell'adozione del BIM non sono trascurabili e comprendono quelli del software, i probabili costi dell'hardware, i costi di formazione e la possibile perdita di produttività durante la fase iniziale. Allo stesso tempo è facile comprendere, forse anche con un certo senso di disagio, che il cambiamento è la norma, così come che i vantaggi sono e saranno più che notevoli.

In quanto strumento in evoluzione, il BIM è imperfetto e non privo di limiti. Per questo motivo va fatto tesoro di quanto si può leggere in questo volume, frutto del lavoro appassionato di molti ricercatori italiani e argentini: lavoro che andrà approfondito e rielaborarlo per assurgere a patrimonio condiviso di una comunità scientifica. Per ogni metodologia suggerita, per ogni flusso di lavoro proposto, esistono, infatti, più approcci: vi invito, quindi, a essere curiosi ed esplorare le diverse alternative.

Più che un semplice contenitore di esperienze, questo volume vuole ispirare e incoraggiare a codificare l'evoluzione della metodologia BIM. Il lettore non dovrà esitare a rivalutare il modo di ricercare soluzioni efficaci ed efficienti per governare questo processo che investe la scienza della rappresentazione.

Questo è stato l'obiettivo del volume degli atti della prima edizione argentina di *Modeling & BIM* – uno dei primissimi e oggi più consolidati workshop italiani dedicati al BIM, da tempo e con lungimiranza promosso da Tommaso Empler –, pubblicato con il contributo dei Fondi di Ateneo per la Ricerca di Base dell'Università degli Studi di Salerno e grazie all'interessamento di Andrea di Filippo.

In recent years, we have been spectators – or participants – in a profound transformation of the AEC sector, first in methodology and then in practice. We have indeed witnessed a gradual shift from so-called computer-aided drafting to BIM parametric modeling. In this regard, some have once again lamented the potential loss of a valuable graphic tradition, opposing those early enthusiasts who predicted that this new approach to design would be the cure-all for the sector's ills. A careful consideration of the methodology – much like a technology – will lead the reader to the realization that the change has a 'social' dimension at least as significant as its technical one. Therefore, both the skeptical and the devoted camps likely have some merit. Turning to BIM, it offers a path toward a sustainable approach to digitization, one that is more than just a last-minute patchwork solution. Parametric modeling allows, 'on paper,' for control over all aspects of construction from the earliest stages of its lifecycle, such as from structural sizing to energy models, all the way through the functional organization of spaces. Even when documenting existing heritage, with its inherent uniqueness, this methodology – in its HBIM or eBIM variants, closely related to architectural surveying – ensures the traceability of the informational content that will feed into the final model. This, however, highlights the current complexity encountered in returning a model that pertains to an advanced phase of an architecture's lifecycle.

BIM could therefore be understood as a tool for quantitative design, an evolving methodology that is following at least two directions. One of these is extrinsic to the dictates of any specific tool or software platform: Finith Jernigan had referred to it as Big BIM. In this case, the acronym emphasizes the impacts of information modeling, the creation of an open, interoperable virtual model that generates (or at least promotes or should promote) more open systems. In practice, BIM is also simply evolving as a software environment, what Jernigan called Little BIM. The objects, tools, commands, procedures, features, and capabilities of a given application are being driven, perfected, and made more powerful and robust by developers and users alike. As BIM, as a methodology, continues to evolve, new best practices consequently emerge.

Obiettivo, direi, perfettamente centrato e in linea con la partecipazione italiana all'iniziativa "Scientific cooperation, internet and artificial intelligence" della strategia europea *Global Gateway*, divulgando i modelli scientifici dedicati alla digitalizzazione del patrimonio architettonico, propri delle scuole italiane di architettura e ingegneria civile, attraverso la condivisione di best practice.

However, alongside the promise of greater effectiveness and more powerful tools, there are often reasonable concerns about the new. The decision not to update a given piece of software is mostly based on evaluating the risk of slowing down or even halting workflows, rather than on a simplistic expression of nostalgia. Given the well-known resistance to adopting new digital tools, imagine the opposition to a completely new approach. The costs of adopting BIM are not negligible, including software costs, potential hardware costs, training expenses, and possible productivity loss during the initial phase. At the same time, it's easy to understand, perhaps even with a sense of discomfort, that change is the norm, just as the benefits are and will be more than considerable.

As an evolving tool, BIM is imperfect and not without its limitations. For this reason, the content in this volume – the result of the passionate work of many Italian and Argentine researchers – should be cherished. This work needs to be explored and reworked to become shared knowledge within the scientific community. For every suggested methodology, for every proposed workflow, there are multiple approaches: therefore, I encourage you to be curious and explore different alternatives.

More than just a collection of experiences, this volume aims to inspire and encourage the codification of BIM methodology evolution. The reader should not hesitate to reconsider how to search for effective and efficient solutions to govern this process that impacts the science of representation. This was the goal of the proceedings from the first Argentine edition of *Modeling & BIM* – one of the earliest and now most established Italian workshops dedicated to BIM, long promoted by Tommaso Empler with foresight – published with the support of the University of Salerno's Basic Research Fund and thanks to the involvement of Andrea di Filippo.

The goal, I would say, has been perfectly achieved, in line with Italy's participation in the European strategy "Scientific cooperation, internet, and artificial intelligence" within the *Global Gateway* initiative, disseminating scientific models dedicated to the digitalization of architectural heritage, which are characteristic of Italian schools of architecture and civil engineering, through the sharing of best practices.

# INTRODUZIONE

## FOREWORD

Tommaso Empler

Il Workshop si è posto come un'importante occasione per fornire ai professionisti, agli studiosi e agli operatori del settore strumenti avanzati e aggiornati nel campo della progettazione architettonica, del rilievo, del design e della rappresentazione visiva.

La parte scientifica del Workshop è organizzata in collaborazione tra il BIM FADU (*Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo*) e il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura della Sapienza Università di Roma, in collaborazione con il Centro Italo-Argentino di Alti Studi.

L'obiettivo è duplice: da un lato promuovere la diffusione delle più recenti tecnologie e metodologie per la visualizzazione e divulgazione dei progetti architettonici e del patrimonio culturale; dall'altro, consolidare un ruolo di osservatorio privilegiato sull'uso del Building Information Modeling (BIM) nell'ambito della progettazione architettonica e sostenibile.

Questo approccio integrato consente non solo di approfondire gli aspetti tecnici del BIM, ma anche di affrontare le nuove procedure che stanno emergendo con l'evoluzione delle normative di settore.

Il Workshop si è configurato come una piattaforma di scambio e confronto tra professionisti, accademici e studenti, dove il tema della rappresentazione digitale viene affrontata in tutte le sue sfaccettature.

Da un lato, ponendo grande enfasi sulla modellazione tridimensionale, un elemento chiave per migliorare la comprensione e la comunicazione delle idee progettuali. Le tecniche di gestione delle immagini, sia statiche che dinamiche, vengono esplorate con particolare attenzione agli effetti visivi in post-produzione, i quali giocano un ruolo fondamentale nel creare rappresentazioni realistiche e accattivanti dei progetti.

L'utilizzo delle stampanti 3D è un altro aspetto rilevante, poiché consente di materializzare in modo tangibile le idee progettuali, facilitando così la comprensione da parte di tutti gli attori coinvolti, compresi i non addetti ai lavori.

Parallelamente, l'attenzione viene focalizzata sul BIM, considerato non solo come uno strumento di progettazione, ma come una risorsa logica e informativa che pone il progettista al centro del processo costruttivo, indipendentemente dalla scala del progetto – piccola, media o grande.

Negli ultimi anni, il processo progettuale si è progressivamente frammentato in una serie di comparti specialistici, ciascuno dei quali è spesso gestito da professionisti diversi. Questa frammentazione ha portato a problemi di coordinamento che influiscono negativamente sull'efficienza del processo progettuale, rallentandone l'evoluzione e aumentando i costi complessivi. Il BIM, in questo contesto, rappresenta una risposta efficace a tali problematiche, offrendo una piattaforma integrata che facilita la collaborazione tra i diversi attori e garantisce una gestione coerente delle informazioni durante tutto il ciclo di vita del progetto, dall'idea iniziale fino al collaudo finale.

Un aspetto del Workshop è rappresentato dai topic, che coprono un ampio spettro di temi legati alla digitalizzazione e alla rappresentazione digitale del progetto. Tra questi, la digitalizzazione e l'acquisizione dei dati rivestono un ruolo centrale, in quanto rappresentano il punto di partenza per qualsiasi processo di modellazione digitale. La creazione di Digital Twin – ovvero la replica digitale di un elemento fisico – consente di monitorare e analizzare in tempo reale il comportamento di un edificio o di un'infrastruttura, migliorando così le strategie di manutenzione e gestione.

La fotogrammetria e la modellazione basata su immagini sono altre tecniche fondamentali esplorate durante il Workshop. Queste metodologie permettono di ottenere modelli tridimensionali estremamente dettagliati partendo da rilievi fotografici, una soluzione particolarmente utile nel caso di beni culturali e siti archeologici, dove la precisione e la fedeltà nella rappresentazione sono requisiti imprescindibili. L'uso di scanner 3D – che si tratti di laser, luce strutturata o tecnologie di motion capture – consente di acquisire dati tridimensionali con elevata precisione, offrendo nuove possibilità per la documentazione e il restauro del patrimonio edilizio.

Nel contesto della progettazione architettonica, la grafica computerizzata (Computer Graphics) e la modellazione 3D, sia basata su CAD che su dati reali, sono strumenti ormai indispensabili. Il Workshop affronta anche l'uso delle tecnologie di realtà mista e aumentata (Mixed/Augmented Reality), che permettono di sovrapporre informazioni digitali al mondo reale, offrendo così nuove modalità di interazione con i beni culturali. Queste tecnologie trovano applicazione non solo nella fase di valorizzazione, ma anche durante la costruzione e la manutenzione degli edifici, migliorando la qualità e l'efficienza del processo edilizio.

The Workshop has set itself as an important opportunity to provide professionals, scholars and operators in the sector with advanced and up-to-date tools in the field of architectural planning, survey, design and visual representation. The scientific part of the Workshop is organized in collaboration between BIM FADU (*Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo*) and the Department of History, Representation, and Restoration of Architecture at Sapienza University of Rome, in collaboration with the Italo-Argentine Center for Advanced Studies. The objective is twofold: on the one hand, to promote the dissemination of the latest technologies and methodologies for the visualisation and dissemination of architectural projects and cultural heritage; on the other hand, to consolidate its role as a privileged observatory on the use of Building Information Modeling (BIM) in the field of architectural and sustainable design. This integrated approach makes it possible not only to delve into the technical aspects of BIM, but also to address the new procedures that are emerging with the evolution of the sector's regulations. The Workshop was configured as a platform for exchange and comparison between professionals, academics and students, where the theme of digital representation is addressed in all its facets. On the one hand, great emphasis was placed on three-dimensional modelling, a key element to improve the understanding and communication of design ideas. Image management techniques, both static and dynamic, are explored with a focus on visual effects in post-production, which play a key role in creating realistic and appealing representations of designs.

The use of 3D printers is another relevant aspect, as it allows design ideas to materialise in a tangible way, thus facilitating understanding by all those involved, including non-professionals. At the same time, the focus is on BIM, considered not only as a design tool, but as a logical and informative resource that places the designer at the centre of the construction process, regardless of the scale of the project – small, medium or large.

In recent years, the design process has progressively fragmented into a number of specialised compartments, each of which is often managed by different professionals. This frag-

Un altro tema emergente è l'intelligenza artificiale (AI) e il machine learning, che stanno iniziando a trasformare il modo in cui i progetti architettonici vengono concepiti e gestiti. L'AI può essere utilizzata, ad esempio, per analizzare grandi quantità di dati e identificare pattern che sarebbero difficilmente individuabili da un essere umano, mentre il machine learning può essere impiegato per ottimizzare i processi progettuali e costruttivi, riducendo i tempi e i costi. La virtualizzazione di altri sensi – come il tatto, il gusto, l'olfatto e il suono – rappresenta un ulteriore ambito di ricerca, con applicazioni che spaziano dalla realtà virtuale immersiva alla progettazione di spazi multisensoriali.

La parte scientifica del Workshop è organizzata in collaborazione tra il BIM FADU (*Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo*) e il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura della Sapienza Università di Roma. Questa partnership internazionale garantisce un alto livello di competenza e offre una prospettiva multidisciplinare, integrando competenze tecniche, storiche e progettuali. La collaborazione tra istituzioni accademiche di paesi diversi favorisce inoltre uno scambio di conoscenze e best practice, contribuendo a creare una comunità internazionale di esperti nel campo della progettazione architettonica e della digitalizzazione del patrimonio.

Il convegno ha rappresentato un'occasione unica per esplorare le ultime tendenze nel campo della rappresentazione digitale e della progettazione architettonica. Nella sessione plenaria i partecipanti hanno avuto l'opportunità di approfondire le proprie conoscenze e di confrontarsi con esperti di livello internazionale.

Altro aspetto che emerge nel Workshop è rappresentato dall'attenzione posta sulla sostenibilità nella progettazione architettonica. Il BIM, infatti, non è solo uno strumento per migliorare l'efficienza del processo progettuale, ma anche un mezzo per promuovere la sostenibilità ambientale. Grazie alla capacità di integrare informazioni relative all'efficienza energetica, al ciclo di vita dei materiali e ai costi di gestione, il BIM consente di progettare edifici più sostenibili e di monitorarne le prestazioni nel tempo. Questo approccio integrato alla progettazione sostenibile è fondamentale per rispondere alle sfide poste dal cambiamento climatico e per contribuire al raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile definiti dalle Nazioni Unite.

La digitalizzazione del patrimonio culturale è un altro tema affrontato durante il convegno. La possibilità di creare repliche digitali dei beni culturali offre nuove opportunità per la conservazione e la valorizzazione del patrimonio, consentendo di preservare la memoria storica e di renderla accessibile a un pubblico più vasto. La digitalizzazione, inoltre, facilita lo studio e la documentazione dei beni cul-

mentation has led to coordination problems that negatively affect the efficiency of the design process, slowing down its evolution and increasing overall costs. BIM, in this context, represents an effective response to these problems, offering an integrated platform that facilitates collaboration between the different actors and ensures consistent information management throughout the project lifecycle, from the initial idea to final acceptance.

One aspect of the Workshop is the topics, which cover a broad spectrum of topics related to digitisation and digital design representation. Among these, digitisation and data acquisition play a central role, as they represent the starting point for any digital modelling process. The creation of digital twins – i.e. the digital replication of a physical element – makes it possible to monitor and analyse the behaviour of a building or infrastructure in real time, thus improving maintenance and management strategies. Photogrammetry and image-based modelling are other fundamental techniques explored during the Workshop. These methodologies make it possible to obtain extremely detailed three-dimensional models from photographic surveys, a particularly useful solution in the case of cultural heritage and archaeological sites, where accuracy and fidelity of representation are essential requirements. The use of 3D scanners – whether laser, structured light or motion capture technologies – enables the acquisition of three-dimensional data with high precision, offering new possibilities for the documentation and restoration of building heritage.

In the context of architectural design, computer graphics (Computer Graphics) and 3D modelling, whether based on CAD or real data, are now indispensable tools. The Workshop also addresses the use of Mixed/Augmented Reality technologies, which allow digital information to be superimposed on the real world, thus offering new ways of interacting with cultural heritage. These technologies find application not only in the enhancement phase, but also during the construction and maintenance of buildings, improving the quality and efficiency of the building process.

Another emerging theme is artificial intelligence (AI) and machine learning, which are beginning to transform the way architectural pro-

turali, offrendo agli studiosi nuovi strumenti per analizzare e interpretare il patrimonio.

In conclusione, il Workshop non si limita a fornire un aggiornamento sugli strumenti più avanzati, ma si configura come un vero e proprio laboratorio culturale, dove la sperimentazione, la ricerca e la condivisione delle conoscenze rappresentano il fulcro di un percorso volto a ridisegnare il futuro della progettazione architettonica e della conservazione del patrimonio. L'auspicio è che l'incontro possa stimolare nuove collaborazioni, promuovere ulteriori ricerche e, soprattutto, ispirare una visione integrata e innovativa del progetto e della valorizzazione dei beni culturali, in grado di coniugare bellezza, funzionalità e sostenibilità.

jects are conceived and managed. AI can be used, for example, to analyse large amounts of data and identify patterns that would be difficult for a human to detect, while machine learning can be used to optimise design and construction processes, reducing time and costs. The virtualisation of other senses - such as touch, taste, smell and sound - represents a further area of research, with applications ranging from immersive virtual reality to the design of multi-sensory spaces.

The scientific part of the Workshop is organised in collaboration between BIM FADU (Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo) and the Department of History, Design and Restoration of Architecture of Sapienza University of Rome. This international partnership guarantees a high level of expertise and offers a multidisciplinary perspective, integrating technical, historical and design skills. The collaboration between academic institutions from different countries also fosters an exchange of knowledge and best practices, contributing to the creation of an international community of experts in the field of architectural design and heritage digitisation. The conference represented a unique opportunity to explore the latest trends in the field of digital representation and architectural design. In the plenary session, participants had the opportunity to deepen their knowledge and exchange views with international experts.

Another aspect that emerged at the Workshop was the focus on sustainability in architectural design. Indeed, BIM is not only a tool to improve the efficiency of the design process, but also a means to promote environmental sustainability. Through its ability to integrate information on energy efficiency, material lifecycle and running costs, BIM makes it possible to design more sustainable buildings and monitor their performance over time. This integrated approach to sustainable design is key to meeting the challenges posed by climate change and contributing to the achievement of the UN Sustainable Development Goals.

The digitisation of cultural heritage is another topic addressed during the conference. The possibility of creating digital replicas of cultural heritage offers new opportunities for

the preservation and enhancement of heritage, making it possible to preserve historical memory and make it accessible to a wider public. Digitisation also facilitates the study and documentation of cultural heritage, offering scholars new tools for analysing and interpreting heritage. In conclusion, the Workshop is not limited to providing an update on the most advanced tools, but is configured as a true cultural workshop, where experimentation, research and knowledge sharing represent the fulcrum of a path aimed at redesigning the future of architectural design and heritage conservation. The hope is that the meeting will stimulate new collaborations, promote further research and, above all, inspire an integrated and innovative vision of the design and valorisation of cultural heritage, capable of combining beauty, functionality and sustainability.

# INSTRUMENTO INFORMATIVO DIGITAL PARA LA VALORIZACIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

## DIGITAL INFORMATION TOOL FOR THE ENHANCEMENT OF ARCHITECTURAL HERITAGE

### AUTHOR

Allende Agostina Neftalí<sup>1</sup>, Carla Ferreyra<sup>1</sup>, Susana Martinez Mónica<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Salerno, Italia

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

### EMAIL

[a.allende@studenti.unisa.it](mailto:a.allende@studenti.unisa.it);

[cferreyra@unisa.it](mailto:cferreyra@unisa.it);

[monica.martinez@unc.edu.ar](mailto:monica.martinez@unc.edu.ar)

## KEYWORDS

ARQUITECTURA ECLESIASTICA  
ANÁLISIS GEOMÉTRICO  
MODELIZACIÓN INFORMÁTICA  
CONSERVACIÓN DIGITAL  
ENFOQUE INTERDISCIPLINARIO

## ABSTRACT

La publicación presenta un instrumento avanzado para la valorización del patrimonio arquitectónico, basado en la metodología HBIM y un relevamiento digital integrado. La aplicación en la Chiesa di San Giorgio en Salerno permitió validar su eficacia y establecer una base sólida para la toma de decisiones en futuras intervenciones de conservación y gestión. El estudio subraya la importancia de adoptar estrategias digitales y fomentar la colaboración interdisciplinaria para mejorar la gestión del patrimonio.

*The publication presents an advanced tool for the enhancement of architectural heritage, based on the HBIM methodology and an integrated digital survey. Its application in the Church of San Giorgio in Salerno allowed for the validation of its effectiveness and the establishment of a solid foundation for decision-making in future conservation and management interventions. The study highlights the importance of adopting digital strategies and promoting interdisciplinary collaboration to improve heritage management.*

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo de esta publicación es presentar una metodología para la gestión y conservación del patrimonio arquitectónico mediante la creación e implementación de un modelo informativo digital. La Chiesa di San Giorgio, ubicada en Salerno, Italia, constituye un ejemplo significativo del estilo arquitectónico barroco, caracterizado por sus decoraciones interiores, obras de arte y frescos [Corsari, 1974]. A pesar de su valor histórico y artístico, la iglesia carece de documentación actualizada sobre su estado de conservación [Bergamo, 1973]. En respuesta, se propone un plan de gestión digital que aborda esta falta de documentación y establece un modelo replicable para otras estructuras de arquitectura eclesial en la región (Braca, 2000).

La metodología propuesta se fundamenta en un enfoque SCAN-to-HBIM (Fig. 1), donde SCAN refiere al proceso de captura de datos mediante técnicas avanzadas de relevamiento digital para obtener una representación tridimensional precisa de estructuras existentes. HBIM (Historic Building Information Modeling), por su parte, se centra en el Modelado de Información del Edificio Histórico empleando modelos digitales para gestionar y documentar estructuras históricas [Murphy, 2009].

La nube de puntos integrada, obtenida con diversos instrumentos según los objetivos específicos de restitución, se utilizó como base para construir un modelo paramétrico y para incorporar texturas en un entorno inmersivo. Este trabajo condujo a un Plan de Gestión estructurado en cuatro fases: documentación y catalogación, proporcionando a la iglesia una documentación gráfica detallada y un sistema de nomenclatura adecuado; experiencia inmersiva, combinando el modelo digital con imágenes fotogramétricas para enriquecer el modelo geométrico y mejorar la accesibilidad mediante imágenes y videos inmersivos; interoperabilidad e interdisciplinariedad, facilitando un entorno colaborativo donde múltiples especialistas pueden trabajar en datos compartidos; y desarrollo de un gemelo digital, proponiendo la creación de una réplica digital de la iglesia para facilitar el monitoreo y mantenimiento continuos.

## CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

Estamos inmersos en un cambio de paradigma cultural caracterizado por la aceleración del proceso de digitalización. En el ámbito europeo, programas como Horizon Europe, buscan establecer un sistema colaborativo en la nube para la gestión del patrimonio cultural, creando un nuevo ecosistema digital centrado en la interoperabilidad entre múltiples sistemas de información (European Commission, 2024). En Italia, la valorización del patrimonio cultural implica la definición de estrategias de intervención destinadas a la transformación digital para el período 2022-2026. En este sentido, se está llevando a cabo un proceso de digitalización inclusivo que involucra a todo el sistema cultural. Estos objetivos están alineados con los del Plan Nacional de Recuperación y Resiliencia (PNRR) promovido por el Ministerio de Cultura Italiano, que incluye la creación de plataformas y la definición de estrategias digitales para el patrimonio cultural. Además, el Ministerio de Cultura ha establecido el Plan Nacional de Digitalización (PND) para promover y regular procesos de transformación digital.

En este contexto, la modelación HBIM permite integrar, gestionar y valorizar el patrimonio arquitectónico.

No obstante, aplicar la metodología BIM al patrimonio construido enfrenta desafíos, como la adaptación de software diseñado para nuevos edificios y la falta de bibliotecas específicas para bienes culturales [Banfi, 2017].

Esto subraya la necesidad continua de experimentación y búsqueda de soluciones creativas para avanzar en la implementación de estrategias digitales [Giordano, 2018].

## METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología comenzó con la adquisición de datos mediante la generación de nubes de puntos, constituyendo la primera etapa del modelado informativo digital.

Durante el curso "Rilievo dell'architettura" en la Universidad de Salerno durante el año académico 2022/23, un grupo de estudiantes llevó a cabo un relevamiento digital integrado de la Chiesa di San Giorgio utilizando un enfoque multiescalar.

El estudio exploró el caso según tres niveles de aproximación: territorial, arquitectónico y de detal-

le. Para el nivel territorial, se empleó el instrumento GeoSLAM ZEB Horizon, adecuado para capturar datos tridimensionales a gran escala urbana. Esta herramienta avanzada proporcionó un levantamiento inicial del entorno urbano de la Chiesa di San Giorgio. Para el nivel arquitectónico, se utilizó el escáner laser terrestre FARO X330, que permitió un relevamiento detallado y preciso del interior de la iglesia, esencial para la modelación HBIM.

Dada la complejidad del objeto de estudio, se optó, además, por realizar un relevamiento fotogramétrico del interior para obtener ortofotos de alta resolución, necesarias para enriquecer la información material durante el proceso de texturización [Ferreyra, 2021]. La fotogrametría, un método no invasivo, facilitó la adquisición rápida y precisa de datos, complementando así el modelado detallado.

Una vez obtenidos todos los relevamientos durante la fase de SCAN, se realizó una sistematización de estos, integrándolos en el mismo sistema de referencia y exportándolo en el formato adecuado al entorno de modelado tridimensional.

La nube de puntos sirvió como base para la creación de los componentes dentro del software de autoría BIM Autodesk Revit.

A través de un análisis geométrico y morfológico, fue posible aproximarse a la génesis de los elementos arquitectónicos considerados. El modelo digital se descompuso adecuadamente en categorías de elementos, procediendo tanto a su modelado como a la texturización desde los menos complejos a los más complejos (Fig. 2). Autodesk Revit, es un software diseñado para edificios de nueva construcción, por lo que, dada la falta de estandarización de los componentes, las bibliotecas actuales de familias Revit suelen ser limitadas, lo que dificulta una representación fiel de la arquitectura histórica.

Por esta razón, gran parte del trabajo se centró en la creación, a través de familias cargables, de los elementos arquitectónicos propios de la Chiesa di San Giorgio, a partir de perfiles semi-paramétricos. De esta manera, se creó todo el aparato decorativo compuesto por pilares, molduras y pedestales.

Los elementos más complejos de la estructura incluyen el sistema de cubierta que abarca la nave principal: una bóveda de cañón con lunetas, que cubre el espacio central donde se representan episodios de gran significado histórico y artístico.

Entre el transepto y la nave, se encuentra una bóveda de crucería. La geometría particular de estas

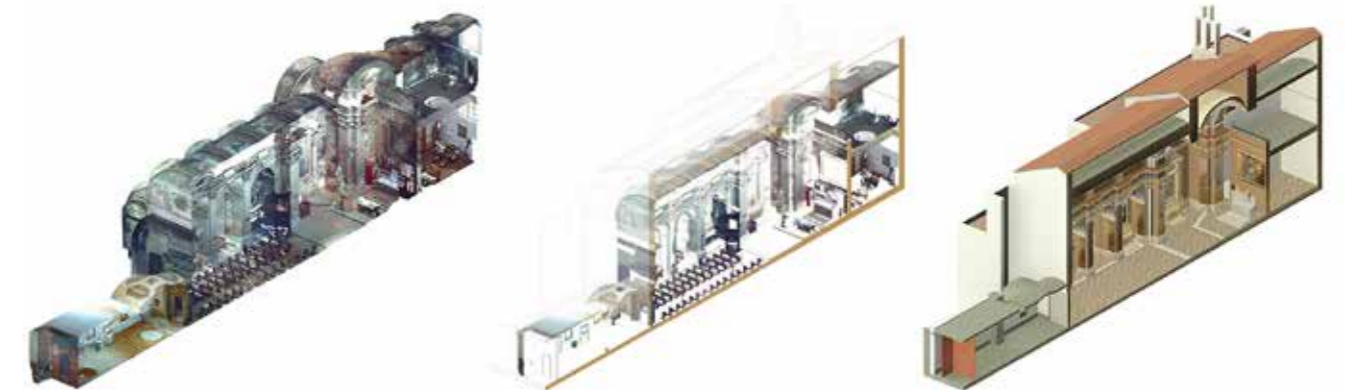


Fig. 1 - Metodología SCAN-to-HBIM aplicada en la Chiesa di San Giorgio.



Fig. 2 - Elementos arquitectónicos creados en relación con su complejidad de modelación y texturización.

estructuras requirió un estudio detallado, especialmente para lograr una curvatura diferenciada en la parte central de la cúpula en comparación con las pechinas.

Mediante un enfoque de modelización que combina el análisis geométrico con la fotogrametría, ha sido desarrollada una herramienta tridimensional que permite mediciones precisas tanto cuantitativas como cualitativas, incluyendo aspectos de la materialidad. Este enfoque proporciona un nivel avanzado de información crucial para la gestión eficiente del patrimonio cultural. La herramienta digital resultante sirve como una base de datos integral, sobre la cual se propone implementar un plan de gestión estructurado en cuatro áreas principales.

Este plan está diseñado para promover la valorización de la Iglesia de San Giorgio desde una perspectiva inter y multidisciplinaria (Fig. 3).

### PLAN DE GESTIÓN DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

La primera parte del plan de gestión consiste en proporcionar a la Iglesia una documentación gráfica actualizada, en términos de plantas y secciones del estado actual, que servirán como base para la creación de un archivo hasta ahora inexistente (Fig. 4). Esto servirá de apoyo para futuros proyectos de restauración, recuperación y conservación, así como para operaciones de monitoreo y análisis del proceso histórico evolutivo. De vital importancia para esta operación es la definición previa de un sistema de catalogación mediante la codificación alfanumérica de cada elemento modelado según el proyecto al que pertenece, la disciplina, el área de la iglesia, el sistema arquitectónico, el elemento que lo compone y, finalmente, el atributo. Este sistema de nomenclatura se compartirá con las partes interesadas involucradas en las operaciones de trabajo.

La segunda parte del plan de gestión se refiere a la producción de imágenes y videos inmersivos utilizando el complemento de realidad virtual Lumion para Autodesk Revit, que proporciona una representación fotorrealista muy efectiva de la iglesia posible gracias a la integración de los resultados de la fotogrametría en el entorno de modelado en forma de materiales. Esta aplicación permite una experiencia de visita a la iglesia para un público más o menos especializado, ampliando así su accesibilidad (Fig. 5).

El enfoque interdisciplinario y multidisciplinario en el contexto de HBIM tiene como objetivo integrar y abrirse a la contribución de múltiples disciplinas y expertos en diferentes sectores para abordar los desafíos únicos relacionados con la conservación y gestión del patrimonio arquitectónico. En el caso de la Iglesia de San Giorgio, se propone la implementación de un organigrama de trabajo según la metodología HBIM con el fin de establecer una estructura jerárquica en la que se identifiquen claramente los roles y las relaciones entre las partes involucradas. Esto establece un sistema de comunicación eficiente que promueve la toma de decisiones informadas de manera ágil, contextualizadas por área de intervención.

Se propone la creación de seis macro equipos para el proyecto: el primero se encargará de la promoción; el segundo, de la gestión, con el director del proyecto HBIM y el coordinador del plan de gestión de la información. En el tercer grupo, el gerente HBIM colaborará con las figuras anteriores, coordinando a los responsables de sectores y áreas temáticas específicas. Cada área contará con coordinadores especializados en arquitectura, estructura, restauración, recuperación y servicios. Los modeladores HBIM dentro de cada área se dedicarán a la modelización detallada utilizando herramientas BIM especializadas. Para la implementación del proyecto, un grupo trabajará directamente con las empresas contratadas, en estrecha colaboración con los profesionales del equipo de diseño. La cuarta macro área estará dedicada al monitoreo, crucial para la gestión de las operaciones de mantenimiento y restauración. Finalmente, un grupo se encargará de las acciones concretas de mantenimiento.

Este tipo de herramienta digital es modular y adaptable a diversas disciplinas y áreas temáticas de trabajo, abarcando desde bienes culturales hasta restauración, historia del arte, y ofreciendo la posibilidad de realizar reconstrucciones históricas, así como desarrollar modelos estructurales.

En particular, el presente trabajo se ha centrado en el campo de la restauración, en el estudio del deterioro de una de las capillas laterales.

Un primer conjunto de modelos genéricos adaptativos basados en diferentes números de puntos de control se caracterizó luego mediante la creación de parámetros en Revit. Estos parámetros están relacionados con la ubicación y el tipo de deterioro, categorizado como material al que se le asigna el



Fig. 3 - Propuesta del Plan de Gestión para la valorización de la Chiesa di San Giorgio.

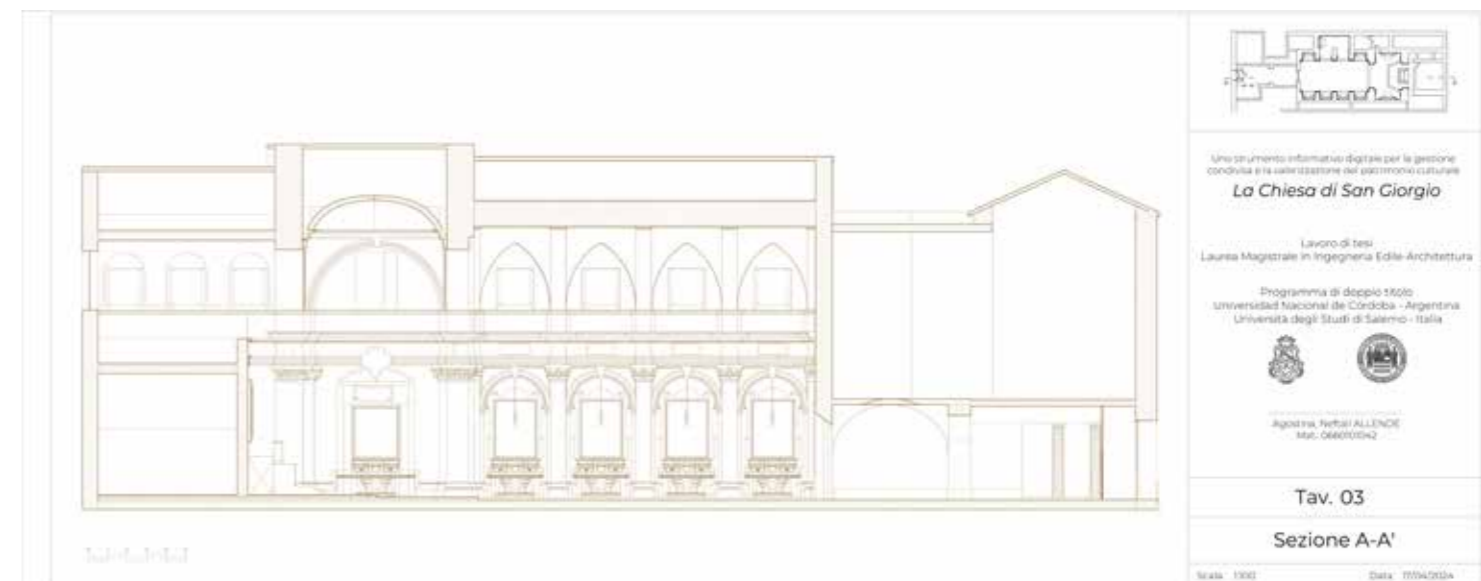


Fig. 4 - Documentación gráfica actualizada de la Chiesa di San Giorgio.



patrón correspondiente y una definición acorde con la normativa italiana UNI-NorMal. Además, según el tipo de deterioro, se asignó el tipo de intervención correspondiente. Consideramos apropiado también vincular las ortofotos de referencia almacenadas en la nube y gestionadas según el entorno de datos común establecido. La accesibilidad del modelo está garantizada por el acceso directo organizado a toda la documentación disponible.

Para facilitar el intercambio del modelo arquitectónico, se eligió la plataforma en línea Autodesk Tandem, que permite crear grupos de trabajo y administrar usuarios asignándoles diferentes niveles de responsabilidad según sus roles. Estos pueden trabajar juntos, medir, reorganizar los elementos del modelo y visualizar las propiedades o parámetros. Esta plataforma garantiza la flexibilidad y la operatividad del grupo, facilitando la coordinación del trabajo a distancia. Trabajar en la nube permite un acceso rápido y seguro a los datos, siempre actualizados y accesibles desde cualquier dispositivo conectado a Internet.

## CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

En una perspectiva futura, la herramienta propuesta se presenta como un espacio óptimo para la implementación de un verdadero gemelo digital actualizado y actualizable para el caso piloto de la Chiesa di San Giorgio. La copia digital puede ser utilizada como un repositorio de datos obtenidos en tiempo real para evaluar el desempeño del edificio. Estos datos proporcionan la base para optimizar las operaciones de mantenimiento, permitiendo identificar y predecir posibles problemas futuros (Fig. 6). La metodología presentada marca un cambio paradigmático en la gestión y valorización del patrimonio arquitectónico, basado en la digitalización, la colaboración interdisciplinaria y la adopción de tecnologías innovadoras [Sanseverino, 2022]. La aplicación del enfoque HBIM en la Chiesa di San Giorgio en Salerno ha demostrado su eficacia en la documentación, conservación y promoción del patrimonio arquitectónico, proporcionando una herramienta digital modular y adaptable a diversas disciplinas y áreas temáticas. La integración de realidad virtual, gestión colaborativa en la nube y modelos predictivos para el análisis del deterioro estructural

son solo algunas de las capacidades ofrecidas por esta metodología innovadora, que puede contribuir significativamente a la protección y difusión del patrimonio cultural.

Además, este enfoque se caracteriza por su replicabilidad, lo que permite su aplicación en otros edificios históricos y patrimoniales no solo en Salerno, sino también en distintas partes del mundo. Esta capacidad fomenta y fortalece la conservación y promoción del patrimonio arquitectónico en el contexto global cada vez más digitalizado.



Fig. 5 - Fotografía, Nube de puntos y Modelo HBIM texturizado de la Chiesa di San Giorgio

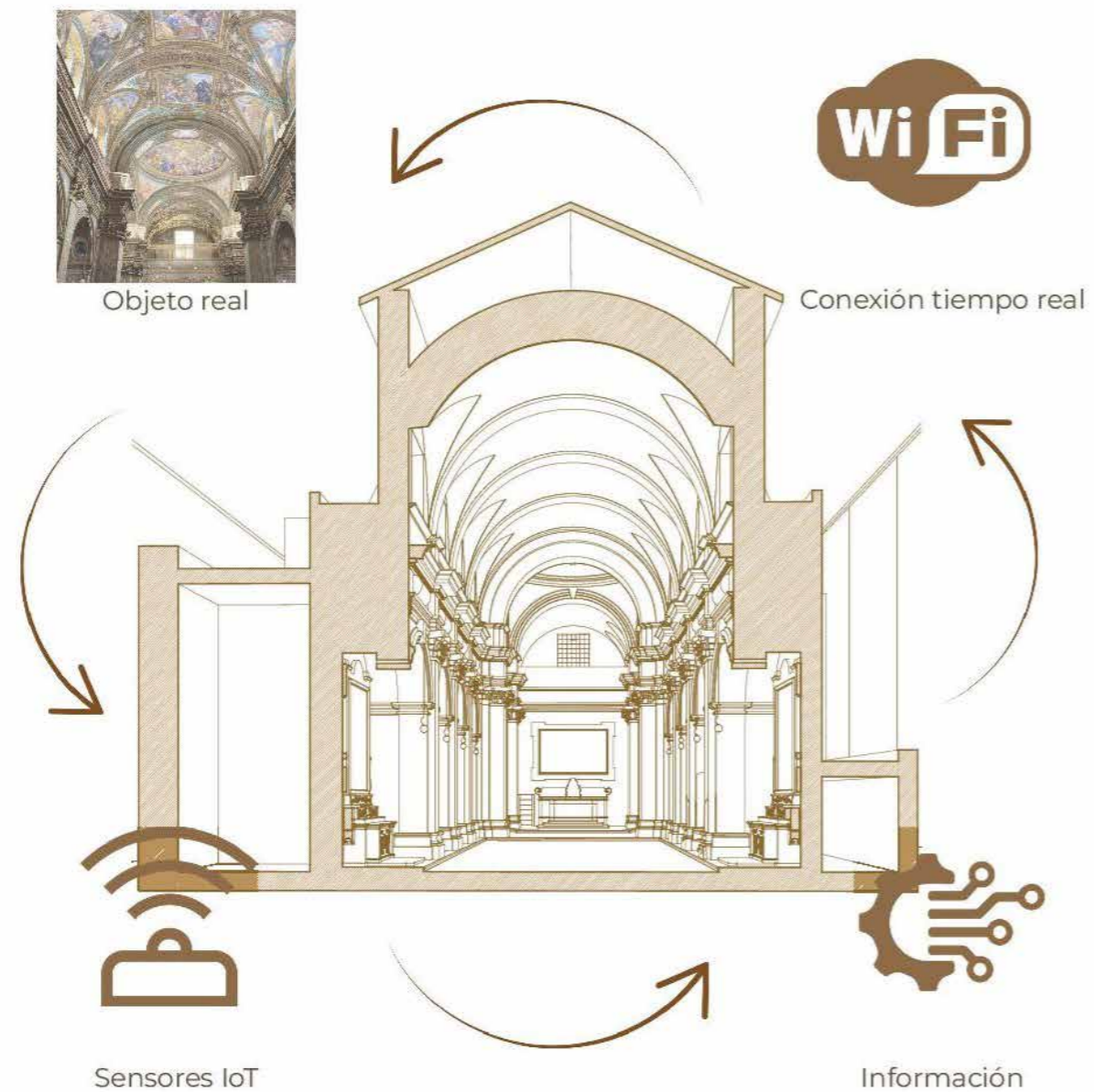


Fig. 6 - Hacia un gemelo digital de la Chiesa di San Giorgio.

## BIBLIOGRAFÍA

Banfi, F. (2017). BIM orientation: grades of generation and information for different type of analysis and management process. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*.

Braca, A., Pasca, M., & Carafa, R. (2000). *Il centro storico di Salerno: chiese, conventi, palazzi, musei e fontane pubbliche*. Viterbo, Italy: BetaGamma Editore.

Bergamo, G. (1973). *Ricostruzioni delle chiese della città di Salerno e del suo Comune*. Battipaglia, Italy: Graf Sud.

Corsari, L.E. (1974). *L'Architettura barocca a Salerno* [Dissertation, University of Salerno]. General Archive of the University of Salerno, Italy.

European Commission – EU (2024). *Digital cultural heritage*. Retrieved from: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/cultural-heritage>

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires (2010). *Centro de Arqueología Urbana*. Retrieved from <https://www.iaa.fadu.uba.ar/cau/?p=1335>

Ferreira, C., Sanseverino, A., & Filippo, A. (2021). Image-based elaborations to improve the HBIM level of development. In *Dienne, Building Information Modeling, Data & Semantics. Vol.8*.

Giordano, A., & Huffman, K.L. (2018). Advanced Technologies for Historical Cities Visualization. In *DisegnareCon*, 11, 1-3.

Istituto della Enciclopedia Italiana Fondata da Giovanni Treccati. Retrieved 2023, from <https://www.treccani.it/enciclopedia/salerno/>

Ministero della Cultura Italiano. Soprintendenze Beni Culturali. Retrieved 2024, from <https://www.soprintendenzapdve.beniculturali.it/faq-come-fare-per-che-cosa-si-intende-per-bene-culturali/>

Ministero della Cultura Italiano. Catalogo Generale dei Beni Culturali. Retrieved 2024, from <https://catalogo.beniculturali.it/detail/ArchitecturalOrLandscapeHeritage/15000470987>

Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2009). *Historic building information modelling (HBIM)*. *Structural Survey*, 27(4), 311-327.

Sanseverino, A., Limongiello, M., & Fiorillo, F. (2022). UAV photogrammetric survey and image-Based elaborations for an Industrial Plant. In *DisegnareCon*, 15, 29.

Ufficio Nazionale per i beni culturali ecclesiastici. Le Chiese Italiane delle Diocesi. Retrieved 2023, from <https://chieseitaliane.chiesacattolica.it/chieseitaliane/schedaca.jsp?sercd=81465>. U. N. ecclesiastici, Editor.

# STRUCTURED-LIGHT 3D SCANNING PER LA MODELLAZIONE DEGLI APPARATI DECORATIVI

## STRUCTURED-LIGHT 3D SCANNING FOR THE MODELING OF DECORATIVE APPARATUS

### AUTHOR

Antinozzi Sara<sup>1</sup>, Speroni Ezequiel Lucas<sup>2</sup>, Lopresti Laura Andrea<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Salerno, Dipartimento di Ingegneria Civile

<sup>2</sup> Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería

### EMAIL

santinozzi@unisa.it;

lucas.speroni@ing.unlp.edu.ar;

laura.lopresti@ing.unlp.edu.ar

## KEYWORDS

PATRIMONIO DIGITALE  
RICOSTRUZIONI 3D  
STRATEGIE DI ACQUISIZIONE  
DISSEMINAZIONE DATI  
SCANNER ARTEC

## ABSTRACT

Il presente lavoro illustra una pipeline procedurale per la digitalizzazione dell'ornamento basata sull'impiego della tecnologia Structured-Light Scanning, evidenziando potenzialità e criticità di strumenti sempre più diffusi e utilizzati per la modellazione tridimensionale di manufatti del patrimonio. Questo approccio ha mostrato la necessità di flessibilità metodologica e competenze interdisciplinari per superare sfide tecniche e ambientali della digitalizzazione dei beni culturali.

*This work illustrates a procedural pipeline for the digitalization of ornamentation based on the use of Structured-Light Scanning technology, highlighting the potential and challenges of tools that are increasingly widespread and used for the 3D modeling of heritage artifacts. This approach has shown the need for methodological flexibility and interdisciplinary skills to overcome the technical and environmental challenges of cultural heritage digitalization.*

## INTRODUZIONE

I processi avanzati di raccolta dati sulla forma e sull'aspetto di manufatti hanno rivoluzionato il settore del Cultural Heritage negli ultimi anni [Guidi et al., 2014; Santos et al., 2017]. Grazie all'elevata efficienza nella generazione di repliche digitali estremamente fedeli, con livelli di accuratezza e risoluzione senza precedenti, si possono ottenere ricostruzioni tridimensionali destinate a una vasta gamma di scopi, offrendo così nuove opportunità per preservare e divulgare il patrimonio [Empler et al., 2020; Hristov et al., 2024]. Tuttavia, l'ambito risulta ampio ed eterogeneo e impone di agire con grande flessibilità strumentale e metodologica: infatti, ogni manufatto non solo è unico nel suo genere, ma spesso si trova anche in un ambiente dal quale non può essere rimosso, frequentemente sfavorevole per le acquisizioni [D'Agostino et al., 2018].

Ciò spinge ad una riflessione critica sulle strategie praticabili in funzione della straordinaria casistica disseminata sul territorio, con un'ulteriore variabile, non più trascurabile quando si parla di digitalizzazione di una grande quantità di oggetti: il tempo disponibile. In questa direzione, la tecnologia Structured-Light Scanning o luce strutturata (SLS) si sta dimostrando tra le più affidabili e versatili, in grado di automatizzare e semplificare i flussi di lavoro [Graciano et al., 2017; Barone et al., 2020], seppur rinunciando in parte alla qualità del dato texture ottenibile con tecniche fotogrammetriche, tuttavia includendone la possibilità di integrazione, con l'obiettivo di una modellazione multi-source.

## STATO DELL'ARTE

Le più recenti ricerche e applicazioni basate sulla tecnologia SLS nel campo dei beni culturali sono finalizzate alla documentazione e preservazione digitale di manufatti di piccole e medie dimensioni. I modelli prodotti costituiscono un prezioso backup che può essere cruciale per la conservazione nel tempo degli oggetti o per la loro fedele riproduzione, in caso di estrema fragilità o deterioramento [Kantaros et al., 2023]. Quest'ultima possibilità ha esteso l'ambito applicativo a una maggiore divulgazione, declinandola come ampliamento delle opportunità di accesso alla cultura, di educazione, studio e ricerca [Empler et al., 2023; Sdegno, 2018]. Rispondono

a quest'ampia domanda applicativa numerose e differenti tipologie di apparecchiature a luce strutturata [Morena et al., 2019], classificabili in funzione delle specifiche tecniche dichiarate dal produttore, nonché del software proprietario abbinato, o da abbinare, per il processamento dei dati grezzi. In relazione alle finalità, possono essere raggiunti diversi livelli di accuratezza, precisione, e risoluzione, accoppiati a specifici frame-rate e dimensione del campo inquadrato; inoltre sono valutate le possibilità di acquisire, o meno, il dato texture e la portabilità dello strumento.

## OBIETTIVI E APPLICAZIONI

Lo scopo di questo lavoro è una valutazione dei processi per l'acquisizione e la modellazione di apparati decorativi del patrimonio all'interno di un contesto ampio e diversificato quale il borgo medievale di Casertavecchia (Fig. 1), a circa 10 km di distanza in direzione Nord-Est dalla città Caserta (Regione Campania, Italia), le cui origini, incerte, sono attestabili attorno all'anno 861 d.C. [Erchemperto, 1626]. Il borgo ha subito diverse dominazioni nel corso della storia: dai Longobardi, passando per i Normanni, che portarono il massimo splendore con la costruzione della cattedrale dedicata a San Michele Arcangelo e per gli Svevi, sotto i quali il borgo acquisì importanza politica. Successivamente, sotto la dominazione aragonese nel 1442, Casertavecchia iniziò una progressiva decadenza, perdendo prestigio a favore di Caserta, soprattutto con l'avvento dei Borboni e la costruzione della Reggia. Tuttavia, nonostante la sua storia di declino, Casertavecchia è stata dichiarata Monumento Nazionale Italiano nel 1960 ed è ora una meta turistica di grande interesse grazie al Duomo, al suo campanile, ai resti del castello e alle stradine medievali che ne ricordano l'antico splendore.

## METODOLOGIA E RISULTATI

Gli scanner a luce strutturata sono sistemi di misurazione 3D senza contatto il cui impiego consiste nel: (i) proiettare uno schema di luce bianca o blu sotto forma di pattern codificato sull'oggetto del rilievo; (ii) acquisire con una o più fotocamere la griglia di luce intanto distorta dalle curve, depressioni o aree rialzate della superficie scansionata; (iii) analizzare via software i dati acquisiti, ovvero la

deformazione del pattern, per la ricostruzione 3D. Gli strumenti impiegati sono stati gli scanner handheld Spider, Eva e Leo, prodotti da Artec (Senningerberg, Lussemburgo), le cui specifiche tecniche variano principalmente in base a caratteristiche di precisione, risoluzione, distanza di lavoro, campo inquadrato e velocità di acquisizione (Fig. 2). Il flusso di lavoro operativo (Fig. 3) per la produzione dei modelli di quindici differenti manufatti del borgo ha compreso, in primo luogo, una valutazione dimensionale globale e del dettaglio superficiale degli oggetti; successivamente i prodotti dell'acquisizione sono stati trattati a più livelli di dettaglio, nonché migliorati nel dato texture, come descritto più chiaramente in seguito.

Le acquisizioni sono state condotte orbitando attorno ai manufatti da diverse angolazioni e a velocità costante, in condizione di luce naturale, tenendo conto delle caratteristiche funzionali dello strumento.

Tra queste, si consideri che, basandosi su una tecnologia di misurazione ottica, gli scanner a luce strutturata sono influenzati dalle caratteristiche superficiali degli oggetti. Inoltre, sono caratterizzati da un intervallo di profondità definito: se troppo vicino all'oggetto, lo strumento potrebbe non riuscire a catturarlo interamente; d'altro canto, se lo scanner è troppo lontano, si potrà causare del "rumore" 3D, che complicherà il lavoro di post-elaborazione e influenzerà i risultati. Nonostante questi fattori di sfida, la fase di acquisizione ha richiesto un massimo di 15 minuti per ciascun oggetto scansionato.

Le principali problematiche sono state riscon-

trate talvolta nella eccessiva omogeneità cromatica delle superfici, così come in una certa riflettività; tuttavia, la maggiore difficoltà è stata l'accessibilità ad alcune parti dei manufatti, occluse e completamente fuori dalla portata di qualsiasi strumento a misurazione ottica.

Il software utilizzato per la gestione delle scansioni è stato Artec Studio 17 Professional, il software proprietario di Artec. Il flusso di lavoro per l'elaborazione dei dati ha compreso le seguenti fasi: (i) controllo ed editing delle scansioni; (ii) allineamento; (iii) registrazione globale; (iv) generazione dei modelli (fusione); (v) editing dei modelli; (vi) texturing.

Gli errori derivanti dal processo di registrazione delle scansioni non hanno superato gli 0.5 mm, anche per oggetti con estensioni superiori ai 2 m. Per la fase di fusione sono stati prodotti modelli con una risoluzione minima compresa tra 0.5 mm e 2 mm, in funzione dell'estensione specifica e della lavorazione superficiale dei manufatti.

Tra la fase di fusione e quella di texturing, è stata necessaria un'ottimizzazione della mesh tridimensionale, operazione essenziale per correggere i difetti di acquisizione (rumore e lacune dove lo scanner non ha raccolto dati) e per rendere i dati più gestibili, riducendo il "peso" computazionale, facilitandone l'uso e la manipolazione, senza compromettere la qualità. Le tecniche utilizzate in ambiente Artec per affrontare questi problemi hanno incluso un denoising e un hole filling.

Tuttavia, queste tecniche hanno migliorato principalmente l'aspetto visivo dei modelli. Per una ridu-



Fig. 1 - Duomo di Casertavecchia (Regione Campania, Italia).

zione più efficace del peso generale, è stata necessaria la semplificazione della mesh (Fig. 4).

Sono stati generati diversi modelli dello stesso manufatto a livelli di semplificazione crescente in ambiente Geomagic Design X, attraverso una decimazione del numero di poligoni che preservi le caratteristiche formali originali del modello. Così la riduzione è stata assegnata in percentuale rispetto al numero iniziale dei poligoni, vincolando la rimozione a conservare la forma originale dei bordi.

Infine, attraverso un remeshing è stata rigenerata globalmente la mesh poligonale, assegnando alle facce lunghezze uniformi.

In più occasioni, i contorni irregolari della mesh hanno creato difficoltà nella ricostruzione delle informazioni mancanti, impedendo al software di risolverle automaticamente; quindi, per i fori non chiusi correttamente in ambiente Artec è stato necessario intervenire con strumenti di ricostruzione avanzati. Difatti, è stato riconosciuto un maggiore controllo e precisione nella procedura di regolarizzazione di bordi e chiusura adattiva di fori in ambiente Geomagic Design X, con particolari vantaggi nel controllo delle curvature per la generazione di ponti.

In particolare, lo strumento edit boundaries ha consentito di imporre condizioni più favorevoli alla ricostruzione.

A tale riguardo, emblematica la scansione di un portale, per la quale è stata effettuata un'estrusione normale al piano di scansione così da conferirle uno spessore che garantisca un volume chiuso (Fig. 5).

Il trattamento della texture è stato, invece, performato in ambiente software Blender 4.0, dove si è proceduto ad effettuare un texture paint ove necessario agendo direttamente sulla mesh. Le ulteriori rifiniture che hanno interessato la UV map, hanno riguardato la correzione di sbavature e zone di raccordo tra le facce dei modelli e sono state eseguite in ambiente software Adobe Photoshop.

## DISCUSSIONE

La molteplicità delle caratteristiche offerte dagli elementi decorativi del borgo preso in esame ha fornito l'opportunità di testare in maniera diversificata strumenti e metodologie avanzate tesi a ridurre lo sforzo necessario a trasformare i dati grezzi in un modello reality-based finito.

Ciò ha evidenziato sfide significative che possono compromettere la completezza e la precisione dei modelli, pur essendo tuttavia problematiche comuni anche ad altre tecnologie competitor [Di Filippo et al., 2021; Ronchi et al., 2019].

In primis è stato notato come dettaglio e precisione attese richiedano azioni tecnicamente complesse e specializzate e strumentazioni avanzate, entrambi fattori non sempre disponibili e/o accessibili.

Le condizioni ambientali, quali parti difficili da raggiungere o condizioni di lavoro avverse, come il caldo estremo, a esempio, sono ulteriori aspetti che possono complicare le procedure di rilievo.

Nel nostro caso, a ciò si è aggiunta la variazione delle condizioni di illuminazione, influenzando la qualità della texture e rendendo difficile ottenere un dato coerente. Inoltre, la fragilità dei manufatti e/o le loro dimensioni non ne hanno consentito lo spostamento, limitandone la manipolazione e dunque la possibilità di eseguire rilievi completi senza rischi. Un'ultima considerazione riguarda l'elaborazione dei dati, complessa per quantità e gestione. È noto, infatti, come le sfide della digitalizzazione, oltre ai processi relativamente lunghi di post-produzione, richiedano la necessità di integrare più competenze, non solo nelle operazioni generative, ma specialmente nella successiva condivisione e archiviazione del dato.

Si consideri che i progetti generati in ambiente Artec hanno assunto un peso compreso fra gli 8 e i 15 GB ciascuno, richiedendo una GPU dedicata da almeno 2GB e una memoria RAM da 64 GB; a ciò si è aggiunto che, per ciascun progetto, sono stati prodotti più modelli a differenti risoluzioni. Il tutto è stato condiviso in ambiente Cloud, per un peso complessivo di 150 GB.

Ciononostante, emerge una forte innovazione nel modo in cui oggi ci si può avvicinare allo studio e alla comprensione degli oggetti del patrimonio. Si tratta principalmente di una conoscenza più completa e dettagliata, che può migliorare la capacità di documentazione, analisi, interpretazione, accesso, conservazione e divulgazione delle informazioni legate agli oggetti al patrimonio culturale.



Modello	LEO	EVA	SPIDER
<b>Precisione</b>	fino a 0.1 mm	fino a 0.1 mm	fino a 0.05 mm
<b>Risoluzione</b>	fino a 0.2 mm	fino a 0.2 mm	fino a 0.1 mm
<b>Dimensioni oggetto</b>	da 20 a 200 cm	da 20 a 200 cm	da 5 a 20 cm
<b>Distanza di lavoro</b>	0.35 – 1.2 m	0.4 – 1 m	0.2 – 0.3 m
<b>Campo inquadrato</b>	da 244x142 mm a 838x488 mm	da 214x148 mm a 536x371 mm	da 90x70 mm a 180x140 mm
<b>Velocità di acquisizione</b>	fino a 35 mln punti/s	fino a 18 mln punti/s	fino a 1 mln punti/s

Fig. 2 - Specifiche dichiarate dal produttore degli scanner utilizzati per le acquisizioni degli apparati decorativi di Casertavecchia.

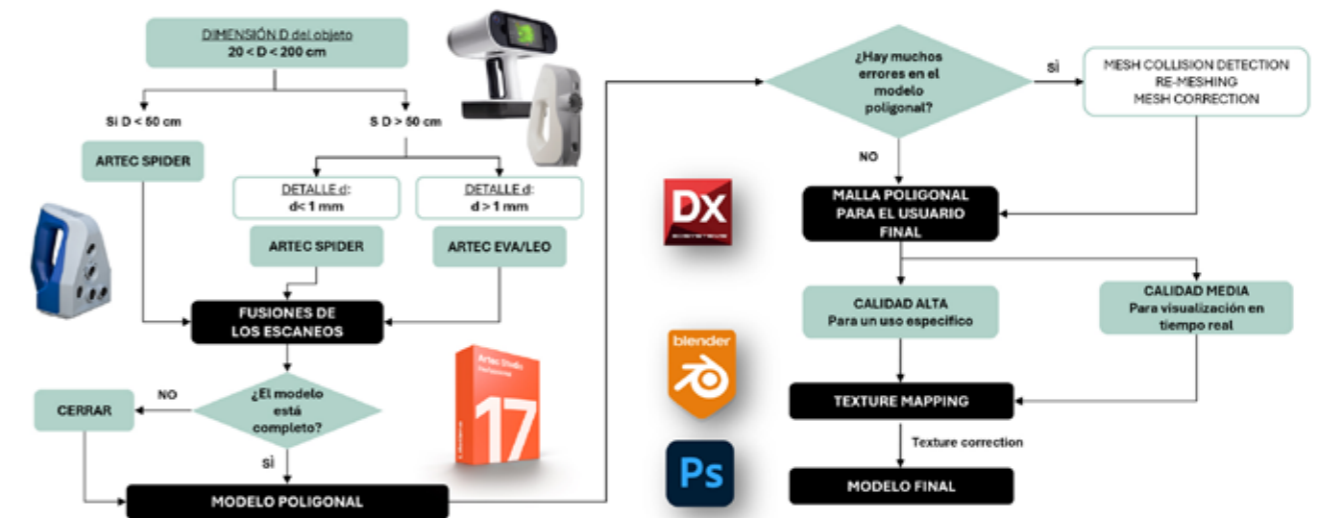
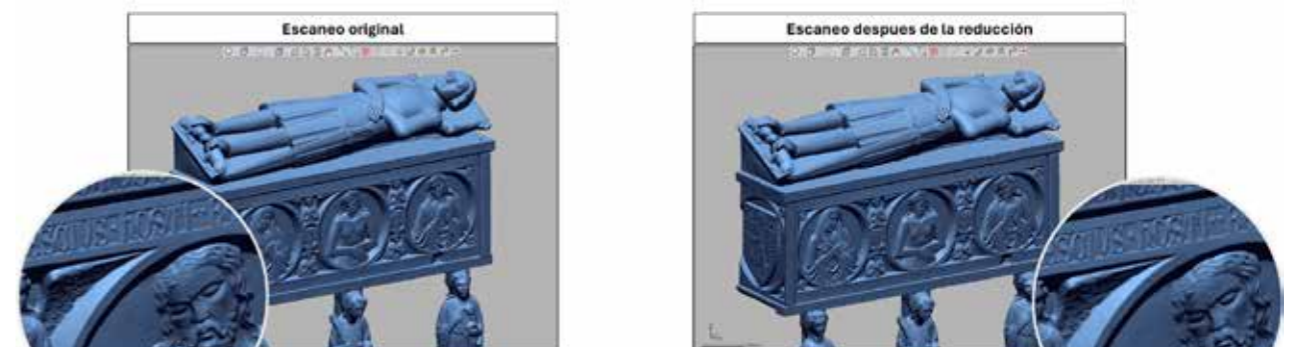


Fig. 3 - Workflow operativo per la produzione di modelli tridimensionali da luce strutturata: Acquisizione dei dati; Processamento delle scansioni (allineamento, registrazione, pulizia, fusione); Post-produzione (remesh isotropico, decimazione, ri-texturizzazione).



	Escaneo original	Despues de la reducción
<b>Triangulos</b>	25.894.093	1.669.083
<b>Peso</b>	480,4 mb	30,9 mb
<b>Formato</b>	PLY	PLY

Fig. 4 - Decimazione della mesh poligonale del modello di un sarcofago in pietra per la riduzione del peso del modello in funzione della condivisione agile del dato.

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La produzione di modelli tridimensionali di alta qualità del patrimonio culturale è un processo che presenta diverse sfide, ma che offre anche enormi benefici.

I prodotti ottenuti con sistemi di scansione a luce strutturata costituiscono una base informativa di grande valore che si presta a molteplici applicazioni, anche in contesti interoperabili, dalla quale non si può più trascendere se la direzione attuale è orientata ad affrontare e soddisfare l'ampio ed eterogeneo spettro di richieste sia di natura tecnico-scientifica che divulgativo-culturale. Tra le possibili soluzioni per far fronte alle difficoltà incontrate, un ruolo fondamentale lo riveste la formazione di specialisti nel campo della modellazione 3D e nell'uso delle tecnologie di rilievo, così come il favorire collaborazioni tra archeologi, ingegneri, informatici e conservatori per combinare le competenze necessarie. A ciò potrebbe poi essere affiancato lo sviluppo di software più user-friendly che possano facilitare il processo di modellazione anche per utenti non esperti e l'utilizzo di infrastrutture di calcolo avanzato, come il cloud computing, per gestire ed elaborare grandi quantità di dati. I benefici di tali sforzi sono enormi, consentendo una documentazione dettagliata, una maggiore accessibilità e una migliore conservazione digitale del nostro patrimonio culturale per le future generazioni.

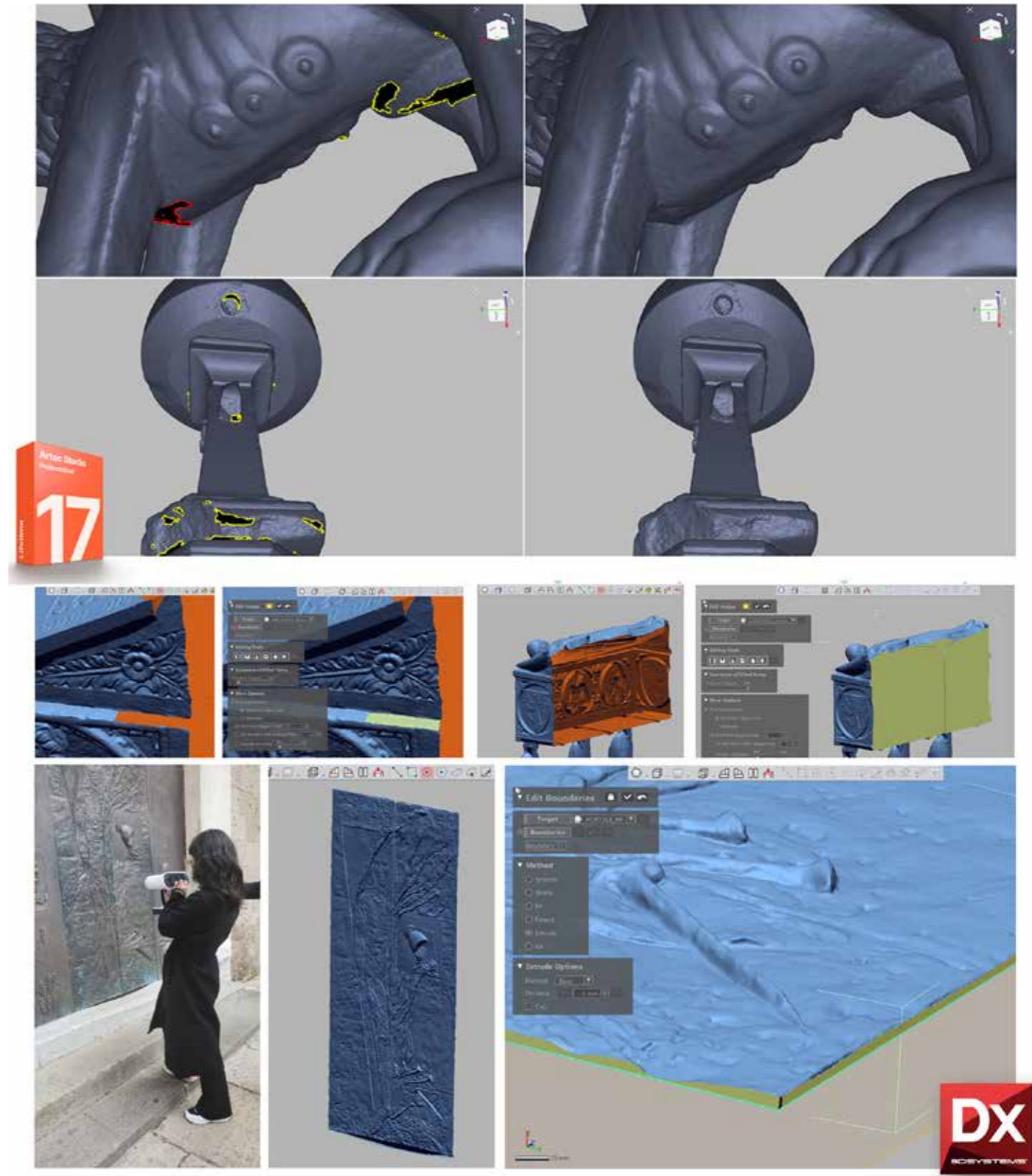


Fig. 5 - Differenti modalità di chiusura dei fori dei modelli causati da dati mancanti, dovute a zone inaccessibili, in ambiente software ArtecStudio17 (in alto) e Geomagic Design X (in basso).

## BIBLIOGRAFIA

Barone, S., Neri, P., Paoli, A., Razonale, A.V. (2020). 3D acquisition and stereo-camera calibration by active devices: A unique structured light encoding framework. In *Optics and Lasers in Engineering*, n. 127, pp.1-12. Amsterdam: Elsevier Ltd.

D'Agostino, P., Messina, B. (2018). Strategie digitali per la fruizione diffusa del patrimonio culturale. Il caso delle architetture rupestri in costiera amalfitana. In C. Marcos (a cura di). *De trazos, huellas, y improntas*, vol. II, pp. 749-758. Alicante: Publicacions Institucionals UA.

Di Filippo, A., Vilecco, F., Cappetti, N., Barba, S. (2021). A Methodological Proposal for the Comparison of 3D Photogrammetric Models. In C. Rizzi et al. (a cura di). *Design Tools and Methods in Industrial Engineering II*. ADM 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 930-937. Cham: Springer Nature.

Empler, T., Caldarone, A., Fusinetti, A. (2020). Musei tra narrazione, visualità e new media. In A. Arena et al. (a cura di). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere*. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Reggio Calabria-Messina, Italia, 16-18 settembre 2021, pp. 3293-3312. Milano: FrancoAngeli.

Empler, T., Caldarone, A., Fusinetti, A. (2023) L'interazione visibile: transizioni tra modelli analogici e digitali per le ricostruzioni storiche. In M. Cannella, A. Garozzo, S. Morena (a cura di). *Transizioni*. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Palermo, Italia, 14-16 settembre 2023, pp. 1231-1248. Milano: FrancoAngeli.

Erchemperto (1626). *Historia Langobardorum Beneventanorum*. Napoli: Antonio Caracciolo.

Graciano, A., Ortega, L., Segura, R.J., Feito, F.R. (2017). Digitalization of religious artifacts with a structured light scanner. In *Virtual Archaeology Review*, n. 8(16), pp. 49-55. València: Universitat Politècnica de València.

Guidi, G., Russo, M., Angheluddu, D. (2014). 3D Survey and Virtual Reconstruction of archeological sites. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, n.1, pp. 55-69. Amsterdam: Elsevier Ltd.

Hristov, G., Zahariev, P., Georgiev, G., Bencheva, N., Kinaneva, D., Stewart, R. A. (2024). Study on the Digitalization Methods, Visualization Technologies and Interactive Information Systems for Popularization of Tangible and Intangible Heritage. In *Proceedings of the 2024 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI DAMT & NCON)*. Chiang-mai, Thailand, 31 gennaio-3 febbraio 2024, pp. 296-301. Piscataway: IEEE.

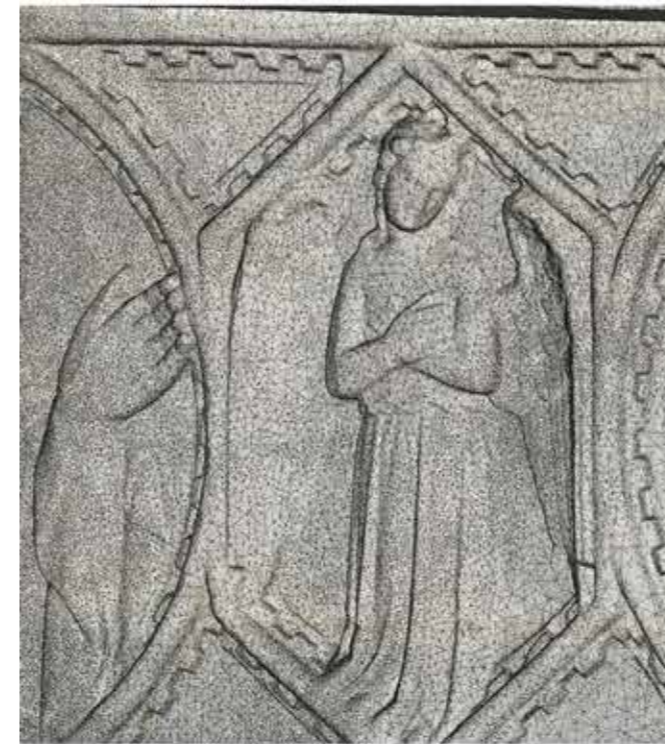
Kantaros, A., Ganetsos, T., Petrescu, F.I.T. (2023). Three-Dimensional Printing and 3D Scanning: Emerging Technologies Exhibiting High Potential in the Field of Cultural Heritage. In *Applied Sciences*, n.13(8), pp. 4777-4802. Basel: MDPI.

Morena S., Barba S., Álvaro-Tordesillas A. (2019). Shining 3D Einscan-Pro, Application and Validation in the Field of Cultural Heritage, from the Chillida-Leku Museum to the Archaeological Museum of Sarno. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W18, pp.135-142. Gottinga: Copernicus Publications.

Ronchi, D., Fortunati, S., Limongiello, M. (2019). Roman fragmentary painting: surveying technologies and methodological approaches. In *Proceedings of the IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArcheo 2019)*, Firenze, Italia, 4-6 dicembre 2019, pp. 193-198. Budapest: IMEKO.

Santos, P., Ritz, M., Fuhrmann, C., Fellner, D. (2017). 3D mass digitization: a milestone for archeological documentation. In *Virtual Archaeology Review*, n. 8(16), pp.1-11. València: Universitat Politècnica de València.

Sdegno, A. (2018). Rappresentare l'opera d'arte con le tecnologie digitali: dalla realtà aumentata alle esperienze tattili. In A. Luigini, C. Panciroli (a cura di). *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 256-271. Milano: FrancoAngeli.



# MONUMENTOS DEL PAISAJE COSTERO. EL CÓDIGO ROMANO-CARRATELLI Y LAS TORRES DE CALABRIA ULTRA

## MONUMENTS OF THE COASTAL LANDSCAPE. THE ROMAN-CARRATELLI CODE AND THE TOWERS OF CALABRIA ULTRA

### AUTHOR

**Marinella Arena<sup>1</sup>, Nicola La Vitola<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Mediterránea de Reggio Calabria

### EMAIL

[marinella.arena@unirc.it](mailto:marinella.arena@unirc.it)

[nicola.lavitola@unirc.it](mailto:nicola.lavitola@unirc.it)

## KEYWORDS

TORRES COSTERAS  
CODICE ROMANO CARRATELLI  
PAISAJE  
STORITELLING  
REALIDAD AUMENTADA

## ABSTRACT

Las torres costeras de Calabria Ultra, hitos culturales e iconos paisajísticos, representan una oportunidad de desarrollo turístico para el sur de Italia. El Proyecto To\_Know<sup>1</sup> pretende transformar las torres en focos de turismo sostenible: catalizadores de sugerencias y depósitos de información multiescalar. La narración, realizada mediante técnicas de realidad virtual y aumentada, relacionará las torres con las tradiciones locales, los paisajes y las historias vinculadas a ellas, promoviendo una nueva forma de contar la historia de las costas de Calabria Ultra.

*The coastal towers of Calabria Ultra, cultural landmarks and landscape icons, represent a tourism development opportunity for southern Italy. The To\_Know project<sup>1</sup> aims to transform the towers into hubs for sustainable tourism: catalysts for suggestions and repositories of multiscalar information. The storytelling, implemented through virtual and augmented reality techniques, will connect the towers with local traditions, landscapes, and the stories linked to them, promoting a new way of telling the history of the coasts of Calabria Ultra.*

<sup>1</sup>El Proyecto To\_Know, aún en curso, es el primer resultado de un proyecto de investigación más amplio financiado dentro del Proyecto PNRR "Tech4You - Tecnologías para la adaptación al cambio climático y la mejora de la calidad de vida".

El grupo de trabajo del Proyecto Piloto Difusión in situ del patrimonio monumental de la costa calabresa, coordinado por Marinella Arena, está compuesto por Francesca Fatta, Daniele Colistra, Domenico Mediati y Paola Raffa. El proyecto ha contratado a dos becarios de investigación, Nicola La Vitola y Sonia Mollica, que apoyan el proyecto con gran dedicación.



## INTRODUCCIÓN

Las torres costeras de Calabria Ultra salpican las costas jónicas y tirrénicas de Calabria; como centinelas ahora mudos, por el desuso y el abandono (Fig.1), son testigos de un pasado complejo hecho de dominaciones, incursiones enemigas y actividades artesanales ligadas al mar y a la tierra. La gestión de este patrimonio, a caballo entre la conservación y la degradación, entre la valorización y el olvido, es a la vez un recurso y un problema que nunca se ha resuelto del todo. La aparición de nuevos modos de utilización del patrimonio y el advenimiento de las tecnologías digitales multimedia son los requisitos previos para plantear una nueva estrategia de comunicación y valorización de estos artefactos<sup>2</sup>.

El proyecto To\_Know (Tower Knowledge) pretende transformar las torres en verdaderos centros de conocimiento de el patrimonio cultural [Di Paolo, 2018], conectándolas mediante una red de senderos que pongan de relieve su importancia histórica y paisajística. Este planteamiento promueve no sólo el turismo sostenible, sino también la recuperación y puesta en valor de un patrimonio cultural a menudo descuidado.

## UNA RUTA ENTRE LAS TORRES COSTERAS DE CALABRIA ULTRA

El proyecto To\_Know prevé la creación de un museo digital difuso de las torres costeras del sur de Calabria. La iniciativa se basa en el uso de la realidad aumentada para reconstruir digitalmente estas arquitecturas y vincularlas a los estratos informativos y culturales que representan.

Un elemento clave de este enfoque es el Códice Romano-Carratelli, un tesoro documental que proporciona descripciones detalladas de la toponimia de los lugares y las geometrías que regían la disposición de estas arquitecturas costeras en el territorio. Un aspecto crucial es el valor intrínseco de las torres costeras, que no sólo representan símbolos tangibles de la historia local, sino que también son depositarias de historias y tradiciones transmitidas a lo largo del tiempo. En este sentido, el proyecto pretende transformar las torres en verdaderas "antenas territoriales", lugares donde preservar y difundir el conocimiento del territorio al que pertenecen estas arquitecturas.

Con el objetivo de hacer realidad este proyecto de transformación y digitalización:

- Se llevaron a cabo campañas de prospección y censo de las torres costeras (Fig.2); el censo representó un primer paso hacia la creación de modelos arquitectónicos digitales, enriquecidos con capas de información [Stathopoulou et al., 2019] que permiten explorar la historia y la evolución de estas estructuras a lo largo de los siglos. El Codice Romano Carratelli (CRC) es una pieza fundamental en este proceso de censo y sutura de la textura y la cultura arquitectónicas, ya que ha proporcionado un marco histórico esencial para comprender la coherencia de los artefactos, el contexto en el que se construyeron y utilizaron las torres a lo largo del tiempo. Las torres del código se representan tipológicamente a través de una serie de elementos arquitectónicos recurrentes: la base, una hilera de cuerdas que la separa del cuerpo central y, por último, un coronamiento.

La modelización digital representa en este sentido una bisagra entre el estudio instrumental, que pone de relieve la consistencia de estas arquitecturas en su estado actual, y la restitución tipológica que se deriva de la representación crítica del código; la utilización del modelo 3D permite mantener unidos estos aspectos (Fig. 3);

- Desde el punto de vista de la comunicación, la definición del público destinatario permitirá afinar los procesos de narración y crear experiencias culturales atractivas y accesibles.

Así pues, la narración de cuentos se perfila como una poderosa herramienta para transmitir eficazmente las historias y tradiciones asociadas a las torres costeras, creando conexiones emocionales y culturales que enganchen al público y le inviten a explorar y descubrir la rica historia de la zona. Así, mediante una narración cuidadosamente elaborada y apoyada en herramientas inclusivas como la realidad aumentada, el proyecto To\_Know podrá ofrecer al público experiencias atractivas e interactivas que le permitirán sumergirse en los viajes históricos y culturales de estos lugares. Esto no sólo propor-

<sup>2</sup> Sobre el tema de la digitalización del Patrimonio se consulte Ministero della cultura (2023), <https://dgeric.cultura.gov.it/educazione/piano-nazionale-per-leducazione-al-patrimonio/>, consultato il 22/03/2024.



Fig. 1 - Torre Cavallo, Villa San Giovanni, Stretto di Messina.

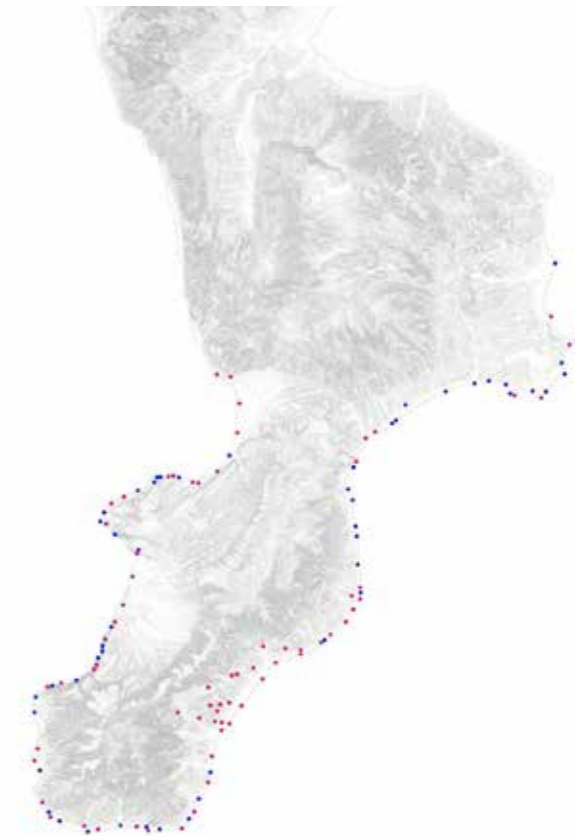


Fig.2 - Torres Costeras in Calabria Ultra.

cionará un sentimiento de identidad y pertenencia a la comunidad local, sino que también contribuirá a preservar y mejorar el patrimonio cultural para las generaciones futuras;

- Los itinerarios personalizables harán accesibles rutas turísticas de otro modo desconocidas, introduciéndolas en un mercado de rápido crecimiento en el sur de Italia.

El itinerario-narración, diseñado para distintos públicos y diferentes modalidades de viaje, podrá ofrecer así una visión global y sistémica del territorio en el que insisten estas arquitecturas, enlazando puntos de interés y conocimientos hasta ahora desconocidos para el gran público. Una vez en el destino, es decir, en la torre, será posible disfrutar de un nuevo tipo de visión, vinculada al patrimonio archivístico del Códice Romano-Carratelli, y a las geometrías que debieron regir el paisaje en la época en que se dibujó el códice;

- Mediante la realidad aumentada, será posible disfrutar de este expediente narrativo adicional, utilizar gráficos por ordenador para añadir una capa adicional de información [Amin et al., 2015], a través del smartphone, a través del cual será posible disfrutar de paisajes que ya no existen o que sólo existían como escenario del proyecto.

El usuario podrá acceder al contenido de realidad aumentada posicionándose correctamente cerca de la torre a la que acaba de llegar. La pantalla, de hecho, enmarcando el paisaje estará puntuada por la visualización de siluetas costeras que ya no son visibles debido a las nuevas configuraciones antrópicas, en las que insisten los puntos torreados más cercanos a la posición a la que acaba de llegar, permitiendo visualizar la orografía del terreno, junto con la silueta de la torre representada en el Códice Romano-Carratelli<sup>3</sup> (Fig. 4).

Por ello, a través del desarrollo de una aplicación para smartphones, se propone reconstruir digitalmente el significado de estas arquitecturas y escenificar el soporte informativo del que el Codice Romano Carratelli representa uno de los elementos más importantes, especialmente para los aspectos relacionados con el turismo cultural (Fig. 5).

La experimentación de la realidad aumentada en este sentido no sólo se refiere a la simple reconstrucción digital de las torres, sino que también tratará de reproducir las geometrías de las miradas,

es decir, las alineaciones entre las torres costeras, ofreciendo una perspectiva sobre la relación entre arquitectura y territorio que ahora se ha perdido. Este enfoque interactivo e inmersivo permitirá a los usuarios explorar el paisaje costero y su historia de una manera atractiva y consciente según los principios del edutainment [Luhan, 1964].

### REALIDAD AUMENTADA Y REALIDAD VIRTUAL COMO NUEVAS FRONTERAS PARA LA MEJORA DEL PATRIMONIO

Si bien la adopción de tecnologías innovadoras como las aplicaciones multimedia, la realidad aumentada y la realidad virtual ofrecen nuevas oportunidades para la difusión y el disfrute del patrimonio cultural, este es un mundo en el que las cantidades masivas de datos sustituyen a cualquier otra herramienta que pueda utilizarse [Anderson, 2008], también este cambio de paradigma plantean cuestiones cruciales sobre la percepción y la accesibilidad de la información, cada vez más vinculadas al medio a través del cual se accede a estos datos [Spallone et al., 2022].

En lo que respecta al proyecto To\_Know, la puerta de entrada a la base de datos será una aplicación optimizada para smartphone a través de la cual se podrá acceder a:

- La reconstrucción en realidad aumentada de las arquitecturas dibujadas en el Codice Romano Carratelli;

- Utilizando el documento como marcador - para la que la investigación ya ha dado resultados satisfactorios (Fig.6);

- Realizando integraciones de realidad aumentada de las consistencias reales de las torres de Calabria y la reconstrucción de las "geometrías de las miradas" para las que, tal y como están las cosas, la experimentación es más compleja, teniendo lugar en un entorno exterior.

<sup>3</sup>El código Romano Carratelli es un libro de instimable valor de propiedad de la familia Romano Carratelli la que se agradece por el soporte y la posibilidad de trabajar con el código.

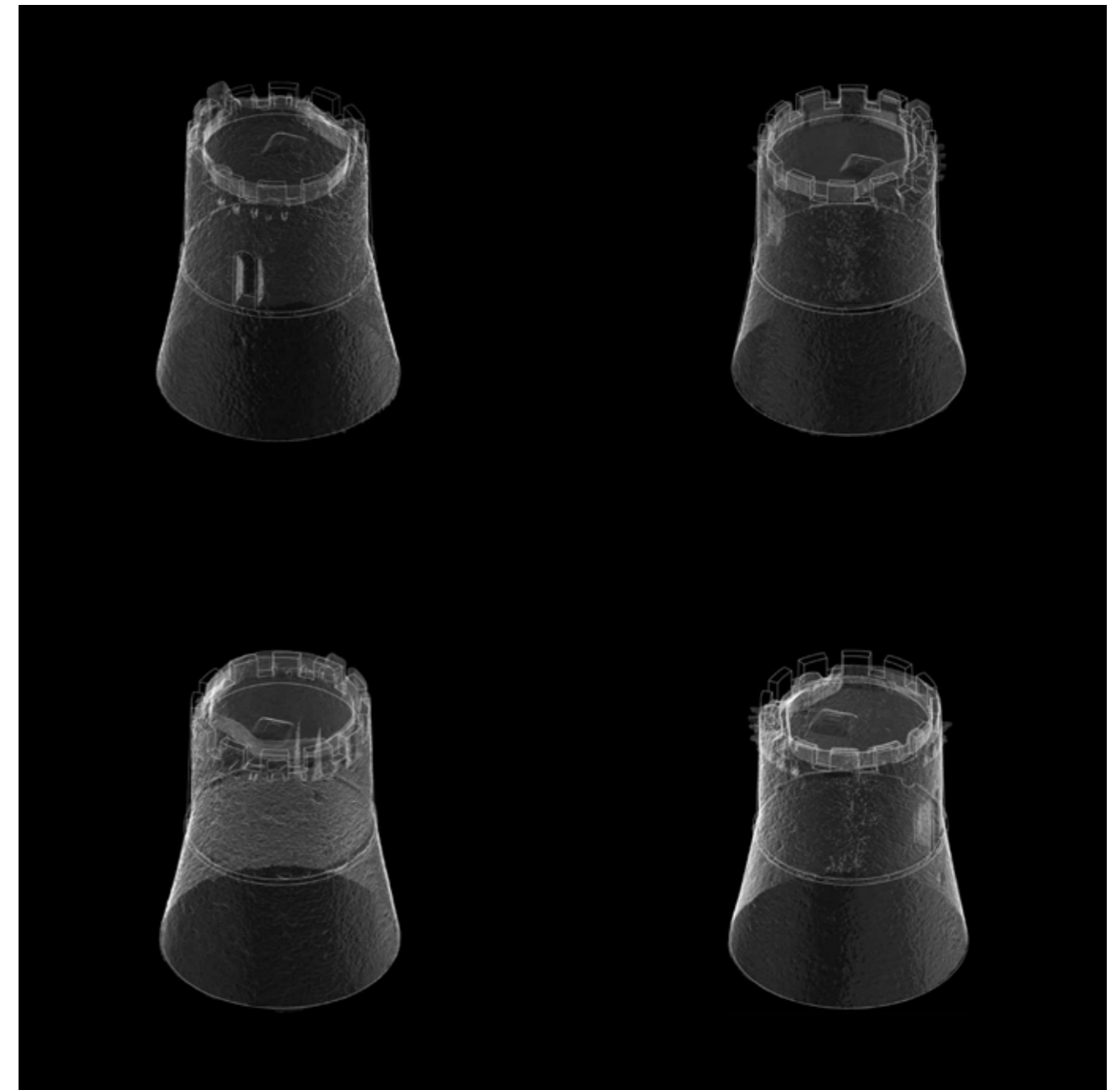


Fig. 3 - Levantamiento con tecnología Laser Scanner y superposición con el modelo 3D del Códice Romano Carratelli.

Cuando se trabaja en arquitectura, el uso de la tecnología markerless adquiere especial importancia, ya que evita el deterioro del artefacto (o del documento de archivo, como en el caso anterior) debido a la aplicación del marcador, así como el desplazamiento o desprendimiento de los marcadores. Por tanto, el anclaje sin marcadores puede realizarse de dos formas: con reconocimiento de imagen o con reconocimiento de un objeto tridimensional. De ahí la necesidad de una aplicación con función de escaneo y reconocimiento de "nubes dispersas", que permita el anclaje del modelo tridimensional a un elemento arquitectónico [Tefera et al., 2018].

La resolución de estos problemas preocupará a la investigación en sus próximos desarrollos.

## PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

Los problemas relacionados con el uso y la puesta en común del patrimonio cultural implican cada vez más la integración de tecnologías digitales para el análisis, la interpretación y la comunicación.

En el ámbito del patrimonio cultural, el llamado "diluvio de datos", en palabras de Anderson hace unas décadas (2008), afecta a la adquisición digital, la construcción de modelos interpretativos, el

tratamiento espacial, la modelización de la información y la digitalización de archivos físicos.

Los retos en cuanto a la valorización de estos datos son, por tanto, múltiples y se refieren a su lectura, difusión y permanencia en el tiempo, extendiéndose en última instancia a su posible uso por parte del "gran público" creando así un sistema de difusión orientado a la diversión y el conocimiento [Cervellini et al., 2011].

La idea que guía la investigación To\_Know presentada en este documento es que el espacio físico puede ser un punto de acceso compartido para el conocimiento del patrimonio, un punto de acceso a diferentes niveles de conocimiento, alcance no exento de preguntas y cuestiones críticas [Marchesini, 2009]. Desde un punto de vista metodológico, esta investigación ha ofrecido específicamente varios puntos de reflexión:

- El primer punto de reflexión se refiere a la comparación y el debate científicos, en cuyo contexto la modelización digital reconstructiva ha revelado, en el caso de las torres costeras de Calabria Ultra, su potencial heurístico, permitiendo formular, visualizar y examinar diferentes hipótesis reconstructivas.



Fig. 4 - Integración virtual de las torres y posibilidad de elegir tu propio narrador.



Fig. 5 - Realidad Extendida en sitio. Acceso al expediente del Código Romano Carratelli.

- El segundo punto de reflexión radica en la facilitación de la comunicación y la interacción con el público; el uso de la realidad aumentada dará la posibilidad de explicar de una manera más amigable y atractiva las características de los artefactos y el valor de las torres costeras como hitos en el paisaje

En la actualidad, la experimentación de la realidad aumentada para las torres costeras de Calabria Ultra se ha desarrollado de forma parcial y basándose en aplicaciones diseñadas por terceros. con el fin de desarrollar prototipos. En el futuro está previsto disponer de aplicaciones web propias y dedicadas que permitan realizar estas visitas virtuales sin "contaminación" utilizando únicamente el propio dispositivo<sup>4</sup>. La posibilidad de poder replicar el proceso desde un punto de vista metodológico, aplicándolo a otros contextos, (próximo objetivo previsto en el programa de investigación) daría mayor relevancia de interés a esta experiencia diseñada científicamente [Perissinotto, 2020].

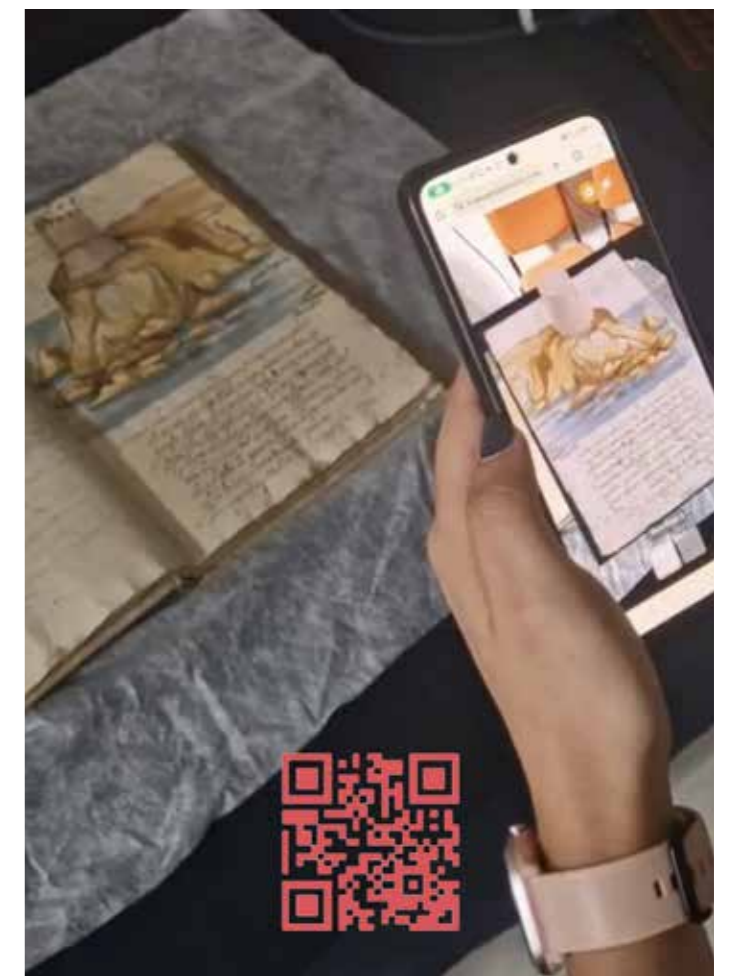


Fig. 6 - El código Romano Carratelli en realidad Aumentada.

## CONCLUSIONES

En conclusión, el proyecto To\_Know representa una oportunidad única para transformar las torres costeras de Calabria Ultra en verdaderos "hotspots territoriales", capaces de atraer visitantes y ofrecerles una experiencia significativa de descubrimiento de las costas calabresas. Mediante un enfoque centrado en la valorización del territorio y la promoción de la cultura local, estas torres podrían convertirse en verdaderos motores de desarrollo sostenible y crecimiento económico para la región.

El proyecto pretende tener repercusiones reales en el territorio y, por lo tanto, verificarlo mediante una fase de "prueba" a la que seguirá una fase de lanzamiento y seguimiento de los resultados.

El objetivo final es hacer utilizable el patrimonio del conocimiento desde una perspectiva cada vez más integradora y accesible [Lampis, 2018], y, por tanto, el recorrido por la costa a través de las vistas del Códice Romano Carratelli es una de las muchas narrativas posibles que pueden vincularse al territorio y a la arquitectura a través de web-apps capaces de hacer interactuar itinerarios culturales, artefactos e historia para relanzar nuevas formas de turismo lento y sostenible.

---

<sup>4</sup>El Covid-19 ha cambiado mucho nuestra forma de disfrutar la realidad. En los museos, por ejemplo, se utilizan audioguías tradicionales, al igual que en los tours, guías turísticas mientras retomaba la idea de poder utilizar un dispositivo personal, por lo que resulta más fundamental que nunca disfrutar del patrimonio cultural.

## BIBLIOGRAFÍA

Amin, D., Govilkar, S. (2015). Comparative Study of Augmented Reality SDK's. In *International Journal on Computational Science & Applications*, pp.11-26. Penrith: Wireilla.

Anderson, C. (2008). The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete. In *Wired*.

Cervellini, F., Rossi, D. (2011). Comunicare emozionando. L'edutainment per la comunicazione intorno al patrimonio culturale. In *DisegnareCon*, pp. 48-55. L'Aquila: University of L'Aquila.

Di Paolo, M. (2018). Educare al Patrimonio Culturale nell'era digitale. In *Bricks*, 8 (3), pp. 26-33.

Lampis, A. (2018.) Ambienti digitali e musei: esperienze e prospettive in Italia. In Luigini A, Pancioli C (eds.). *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 11-16. Milano: FrancoAngeli.

Marchesini, R. (2009). *Il tramonto dell'uomo: la prospettiva post-umanista* (Vol. 81), pp. 3-5, Bari: Edizioni Dedalo.

Mc Luhan, M. (1964). *Gli strumenti per comunicare*, pp. 1-16. Milano: Il Saggiatore.

Perissinotto, A. (2020). *Raccontare. Strategie e tecniche di storytelling*, pp. 5-6. Bari: Laterza.

Spallone, R., Lamberti, F., Olivieri L. M., Ronco, F., Castagna L. (2022). AR and VR for enhancing museums' heritage through 3D reconstruction of fragmented statue and architectural context. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVI-2/W1-2, 473-480.

Stathopoulou, E.-K., Remondino, F. (2019). Semantic photogrammetry - Boosting image-based 3d reconstruction with semantic labeling. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, pp. 685-690.

Tefera, Y.T., Poiesi, F., Morabito, D., Remondino, F., Nocerino, E., Chippendale, P. (2018). 3DNOW: Image-based 3D reconstruction and modeling via WEB. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII2, pp. 1097-1103.

## ATRIBUCIONES

El trabajo es el resultado de un esfuerzo conjunto entre los autores y el grupo de trabajo. Sin embargo, es posible atribuir el párrafo 1 a la profesora Marinella Arena y los párrafos 2, 3, 4, 5 al Dr. Nicola La Vitola.

# IL PROCESSO SCAN TO BIM PER LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO. LA CHIESA BIZANTINA DI SAN GIOVANNELLO A GERACE (RC)

## THE SCAN-TO-BIM PROCESS FOR THE ENHANCEMENT OF ARCHITECTURAL HERITAGE. THE BYZANTINE CHURCH OF SAN GIOVANNELLO IN GERACE (RC)

### AUTHOR

**Marinella Arena<sup>1</sup>, Serena Buglisi<sup>1</sup>, Daniele Colistra<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria

### EMAIL

marinella.arena@unirc.it;  
serena.buglisi@unirc.it;  
daniele.colistra@unirc.it

## KEYWORDS

SCAN TO BIM  
CHIESA DI SAN GIOVANNELLO  
HBIM  
GESTIONE DEL RISCHIO SISMICO  
VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO

## ABSTRACT

Lo studio presentato è relativo a un processo scan-to-BIM effettuato sulla chiesa romanico-bizantina di San Giovanniello, ubicata nel centro storico di Gerace (Reggio Calabria). Il lavoro è parte di un progetto di ricerca più ampio, finalizzato alla gestione del rischio sismico per la valorizzazione turistica dei centri storici del Mezzogiorno d'Italia. Il processo scan to BIM costituisce la fase centrale di un flusso di azioni che ha inizio dallo studio delle fonti storiche, procede con l'analisi dello stato di fatto e si conclude con una serie di proposte progettuali finalizzate sia alla mitigazione delle conseguenze di eventuali azioni sismiche, sia all'implementazione di un database per una migliore comunicazione e fruizione del patrimonio storico.

*The study presented relates to a scan-to-BIM process carried out on the Romanesque-Byzantine church of San Giovanniello, located in the historic center of Gerace (Reggio Calabria).*

*The work is part of a broader research project aimed at managing seismic risk for the enhancement of the historical centers of Southern Italy. The scan-to-BIM process constitutes the central phase of a series of actions that begins with the study of historical sources, proceeds with the analysis of the current state, and concludes with a series of design proposals aimed both at mitigating the consequences of potential seismic events and at implementing a database for better communication and use of historical heritage.*

## PREMESSA

Lo studio presentato<sup>1</sup> descrive un processo scan-to-BIM relativo alla chiesa romanico-bizantina di San Giovannello, ubicata nel centro storico di Gerace (Reggio Calabria). Il lavoro è parte di un progetto di ricerca più ampio (GENESIS - GEstioNE del rischio SISmico per la valorizzazione turistica dei centri storici del Mezzogiorno; soggetto capofila: Università degli Studi "G. D'Annunzio" di Pescara), il cui obiettivo è di offrire un supporto alla fruizione sicura e consapevole dei beni culturali a partire dalla conoscenza della loro storia e delle loro caratteristiche, e di migliorarne le modalità di fruizione attraverso innovative forme di management. Gli studi effettuati in diversi ambiti legati al patrimonio storico-architettonico confluiranno in una piattaforma informatica in grado di raccogliere le indagini svolte a diversi livelli di accuratezza (dalla scala territoriale e urbana a quella dei singoli manufatti), di simulare scenari di danno utili alla gestione delle situazioni di emergenza, di rendere disponibile l'accesso alle informazioni promuovendo nuove modalità di fruizione basate sul rinnovamento dell'offerta e sulla valorizzazione di nuove mete, così come indicato dal Piano Strategico del Turismo del MIBACT.

Il gruppo di ricerca dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, a cui gli autori del presente saggio afferiscono, sta indagando a scala urbana il centro storico di Gerace, borgo medievale della provincia di Reggio Calabria e, al suo interno, il complesso monumentale di S. Francesco e la chiesetta di S. Giovannello (Fig. 1a). L'obiettivo, come già detto, è di verificarne la sicurezza statica e la vulnerabilità, di individuare di sistemi atti a migliorarne il comportamento in caso di evento sismico, di sviluppare sistemi innovativi per la fruizione a distanza e in presenza (VR, AR). In questo scenario, il processo scan to BIM rappresenta la fase cruciale di un percorso che permette di associare al modello digitale un sistema multilivello di informazioni utilizzabili per gli scopi sopraindicati.

## LA CHIESA DI SAN GIOVANNELLO. CARATTERISTICHE MORFO TIPOLOGICHE DI UN PARADIGMA DELL'ARCHITETTURA RELIGIOSA BIZANTINA IN ITALIA MERIDIONALE.

La chiesa San Giovanni Crisostomo, comunemente conosciuta col nome di San Giovannello, è una piccola chiesa romanico-bizantina a navata unica (m 7,60 x 4,40), ubicata all'interno del nucleo più antico del centro storico di Gerace (Reggio Calabria). L'attuale struttura, in pietra e mattoni, risale alla II metà del XI secolo ma la sua fondazione è riconducibile al secolo VIII. La configurazione del monumento è estremamente semplice; si richiama a un preciso schema proveniente dall'oriente che, per le dimensioni ridotte e la rusticità del linguaggio espressivo, si può considerare un epigono delle costruzioni basiliane più evolute [Paolini 1969, p. 303]. Si compone di una cella quadrangolare con abside orientata e sporgente all'esterno; prothesis e diaconicon<sup>2</sup> ricavati all'interno dello spessore della muratura; tetto a falde sorretto da capriate in legno con copertura in tegole; resti di un piccolo campanile a vela sulla cuspide del lato occidentale e due ingressi, uno sul lato settentrionale e uno sul lato occidentale (Fig. 1, b, c, d, 2).

Il materiale usato per la costruzione consiste in pietrame alternato a mattoni e pietra calcarea; la disposizione degli elementi murari è priva di un disegno definito, a eccezione degli archi in laterizio in corrispondenza del profilo di abside, prothesis e diaconicon, e delle riquadrature in pietra calcarea squadrata sull'intradosso delle finestre; queste ultime consistono in una monofora sull'abside centrale, tre monofore sui due lati maggiori dell'edificio, e un rosone sopra l'ingresso sul lato occidentale. Le porte sono due: una sul fronte settentrionale, caratterizzata da un arco estradossato con conci

<sup>1</sup> Pur essendo frutto di un lavoro condiviso, Daniele Colistra ha redatto i paragrafi "Premessa" e "La chiesa di San Giovannello. Caratteristiche morfo tipologiche di un paradigma dell'architettura religiosa bizantina in Italia Meridionale"; Serena Buglisi ha redatto il paragrafo "Il processo scan-to-BIM: principi generali e applicazioni al caso studio"; Marinella Arena ha redatto i paragrafi "Dal rilievo al BIM: strategie per la valorizzazione del patrimonio" e "Conclusioni".

<sup>2</sup> Prothesis e diaconicon, caratteristici degli edifici di culto cristiano ispirati alla tradizione orientale, sono nicchie poste ai lati dell'abside e destinate la prima alla preparazione dell'offerta (a sinistra dell'abside), la seconda alla custodia dei paramenti sacri.

squadrati che formano una lunetta la cui base è data dall'architrave, e una su quello occidentale, incassata tra due pilastri a formare una sorta di minuscolo nartece, configurazione caratteristica di alcune chiese orientali del XI-XII secolo. La porta ubicata sul fronte occidentale un tempo si apriva su uno spazio di esclusiva pertinenza del monastero femminile a cui la chiesa stessa afferiva e le cui tracce sono state rinvenute durante saggi archeologici effettuati sulla piazza antistante nel 1995.

L'edificio era un tempo interamente affrescato; delle pitture parietali che ricoprivano la superficie interna rimangono solo tracce minime alla base dell'abside e sulla parete laterale destra. Sotto al pavimento è presente una piccola cisterna; un tempo usata come battistero, è alimentata dalle acque piovane che venivano incanalate tramite un condotto

in terracotta. Ulteriori elementi caratteristici della costruzione sono l'eccentricità della finestrella posta sull'abside e la presenza di due vasetti in argilla sulle pareti meridionale e settentrionale: potrebbero costituire un espediente, abbastanza diffuso durante il periodo medievale, per migliorare la sonorità all'interno dell'edificio e ridurre il riverbero (Fig. 3).

Usata per molti anni come spazio di sepoltura, successivamente abbandonata, la chiesa di San Giovannello è stata restaurata più volte a partire dalla fine degli anni Sessanta, fino all'ultimo intervento del 2014.

Dal 1991 la chiesa è stata consacrata come Santuario Ortodosso Pantalico della Sacra Arcidiocesi Ortodossa d'Italia e Malta, ed è la più antica chiesa ortodossa d'Italia.



Fig. 1 - a. Nuvola di punti densa di Piazza delle tre chiese a Gerace. A sinistra, la chiesa e il convento di San Francesco, a destra la chiesa di San Giovannello. -b, c, d. Viste della chiesa di San Giovannello. Prospetto ovest, abside e spigolo sud-ovest.



Fig. 2 - Pagina sinistra e destra: ortofoto della nuvola di punti della chiesa di San Giovannello. Prospetto sud, est, nord e ovest.



Fig.3 - Interno del fronte occidentale. In alto, a sinistra del rosoncino, il vasetto in argilla, forse parte di un sistema di vasetti acustici.

## IL PROCESSO SCAN-TO-BIM: PRINCIPI GENERALI E APPLICAZIONI AL CASO STUDIO

La metodologia BIM applicata al patrimonio storico necessita di un flusso di lavoro differente rispetto a quello tradizionalmente utilizzato per la nuova progettazione. Nel caso della modellazione informativa della Chiesa del San Giovanniello di Gerace, le macrofasi del processo metodologico utilizzato sono illustrate in Fig.4.

L'obiettivo è stato quello di dare vita ad un modello informativo dinamico, interrogabile e condivisibile, nel quale si integrassero dati strutturati e multidisciplinari. L'acquisizione dei dati, nelle duplici componenti qualitativa e quantitativa, si è svolta attraverso modalità e tecniche differenti. Il processo è iniziato con la fase di raccolta documentale e di rilievo e la successiva codifica dei dati in formati distinti (analogico e digitale). Nel caso della chiesa di San Giovanniello, l'approccio della metodologia si è basato su una scomposizione dell'organismo architettonico secondo le regole della semantica dei suoi componenti. Per generare la rappresentazione 'as-is', che registra lo stato attuale di un edificio, è stata applicata la metodologia scan to BIM. W

Dal punto di vista tecnico, essa comprende le seguenti fasi:

1. acquisizione di nuvole di punti,
2. interpretazione dei dati grezzi,
3. modellazione,
4. arricchimento semantico.

Dalla "traduzione" del dato "grezzo", o "non strutturato" delle nuvole di punti, ottenute a partire da tecnologie di rilievo, è stato ottenuto un modello in cui gli oggetti "esprimono la virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto di un'entità in un tempo definito. Rappresentazione storicizzata dello scorrere della vita utile di uno specifico sistema" [Norma UNI 11337:2017-4].

A tal fine, è stato adoperato il software di modellazione Autodesk Revit cosicché la codifica dei dati ha anche risentito dello standard ad esso associato.

Le fasi della modellazione parametrica sono state le seguenti:

1. Analisi e scomposizione semantica (individuazione componenti principali dell'edificio);
2. Importazione della nuvola di punti in Autodesk Revit;
3. Impostazione livelli e relative viste;
4. Generazione delle componenti verticali e orizzontali (muri, solai, copertura) attraverso famiglie di sistema;
5. Creazione e parametrizzazione delle famiglie caricabili (infissi interni ed esterni, ecc.);
6. Creazione delle famiglie locali;
7. Arricchimento semantico e informativo.

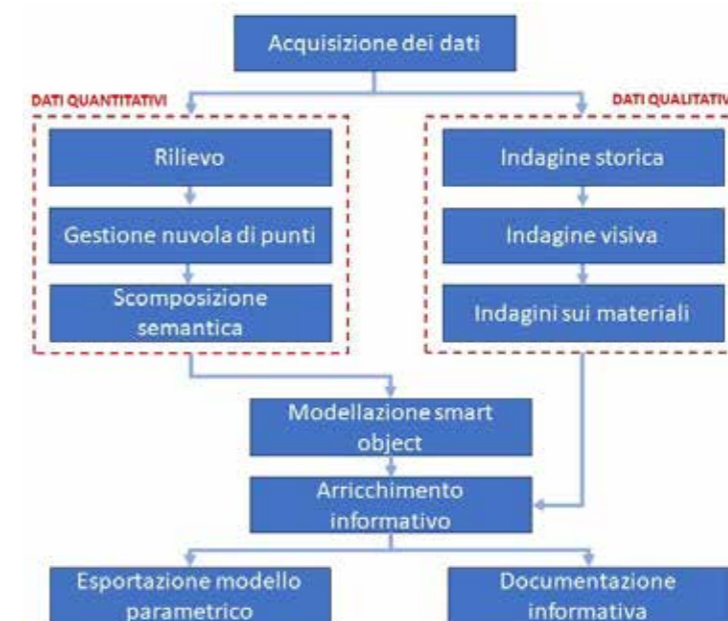


Fig.4 - Processo di modellazione informativa.



Attraverso un modello di analisi che ha individuato la successione delle fasi di trasformazione intercorse nel tempo, si è giunti alla definizione degli "oggetti" costituenti il manufatto (dalle unità stratigrafiche ai singoli elementi costruttivi) che sono stati interpretati e ricostruiti in ambiente di modellazione attraverso opportuna codifica semantica.

Ai fini della ricostruzione digitale, da un punto di vista geometrico, è stata messa in atto un'operazione di "ricalco" sulla base della guida della nuvola. Quest'ultima ha fornito informazioni di natura spaziale e volumetrica, come le giaciture, gli angoli, i percorsi e le inclinazioni dei singoli elementi. Grazie alle funzioni interne al software, è stato possibile frazionare la nuvola, senza manometterne il contenuto, creando delle viste di pianta, sezioni e prospetti e visualizzare il rilievo, il solo modello o la sovrapposizione delle due cose. I vantaggi offerti da queste diverse impostazioni, risiedono non solo nel maggiore approfondimento dell'indagine sull'edificio, ma anche nel controllo della coerenza tra ciò che è stato rilevato e ciò che viene modellato a livello tridimensionale e virtuale. Il flusso digitale descritto ha avuto come obiettivo principale la generazione di un documento di archiviazione integrata, destinato allo scambio informativo tra gli attori coinvolti nel progetto Genesis e all'inserimento all'interno della omonima piattaforma. Il modello, essendo sintesi di informazioni quantitative e qualitative riguardanti l'edificio, potrà essere utilizzato per diverse finalità, tra cui l'analisi e misurazioni dello stato di fatto, analisi energetiche, tour virtuali ed esportazione di documenti, relazioni, abachi, elaborati 2D e report delle criticità, consultabili ed aggiornabili.

A ciò si aggiunge l'interoperabilità e l'ottimizzazione del flusso di scambio informativo tra gli utenti attraverso l'uso del formato aperto, ovvero una traduzione coerente del formato proprietario.

Concluso lo stadio conoscitivo del bene e implementato il patrimonio informativo del modello si avvierà la fase di diagnosi interdisciplinare e trasversale. La strutturazione di un adeguato dizionario semantico in cui ogni elemento fosse riconoscibile a partire da opportuna nomenclatura e attributi funzionali e relazionali, è stato fondamentale per il controllo e l'organizzazione delle fasi del processo informativo.

Ciò perché il BIM si fonda sulla costruzione di un linguaggio (il modello) costituito da oggetti che dialogano e si interfacciano tra di loro seguendo logiche che devono poter essere trasmesse, interpretate e verificate in maniera univoca.

Questo principio operativo verrà utilizzato anche per la mappatura del degrado e delle lesioni, che diverranno "oggetti" categorizzati, a cui saranno collegati parametri informativi propri. I modelli HBIM sono costituiti da componenti parametrici, auto-consapevoli della propria identità architettonica e delle loro reciproche interazioni semantiche [Bolognesi et al., 2018].

Il database interno al modello contiene le definizioni degli elementi, i vincoli parametrici che gestiscono il comportamento dell'oggetto e qualsiasi attributo che può essere collegato ai suoi oggetti.

Questi attributi sono configurabili dall'utente. Ai fini del presente progetto sono stati introdotti tre ordini di classificazione semantica per gestire e condividere le informazioni su tre differenti livelli di granularità:

1. Edificio: informazioni riferite all'opera nella sua interezza;
2. Oggetti: informazioni riguardanti le singole componenti tecnologiche;
3. Elementi puntuali: parti per le quali si prevedeva un dettaglio di modellazione più alto (es. materiali).

Per ogni livello sono state associate le tipologie di dati elencati nella Fig. 7 e forniti dai vari gruppi di ricerca afferenti al progetto Genesis.

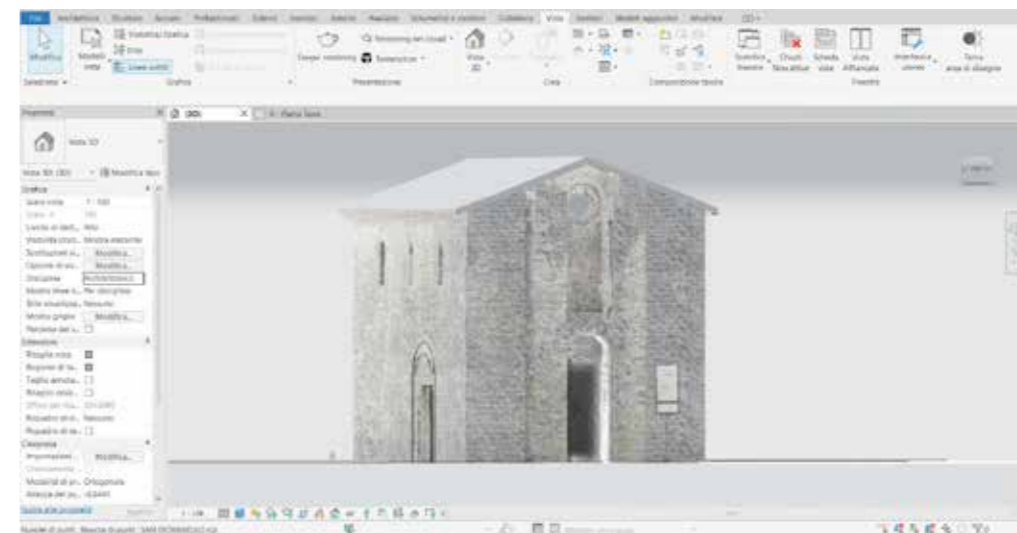


Fig. 5 - Vista del modello e della nuvola di punti all'interno dell'ambiente di modellazione Autodesk Revit.



Fig. 6 - Vista interna del modello in ambiente Autodesk Revit e fotografia dello spazio interno della Chiesa di San Giovanniello.

	edificio	oggetti	elementi puntuali
anagrafica	dati anagrafici	dati anagrafici	tipologia di elemento
	dati storici /cronologici	datazione	caratteristiche
	dati catastali	esposizione	possibili cause /soluzioni (per le sole patologici)
stato di conservazione	localizzazione	localizzazione	localizzazione
	valutazione del rischio	livello di conservazione della componente edilizia	stato di degrado (per le sole decorazioni)
analisi	livello generale di conservazione		
cronologia interventi	risultati indagini rilievo	risultati indagini rilievo	analisi dirette
	dati su precedenti interventi	dati su precedenti interventi	analisi indirette
altro	file/link	file/link	file/link

Fig.7 - Tipologia di dati contenuti nel modello forniti dai gruppi di ricerca.

## DAL RILIEVO AL BIM: STRATEGIE PER LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO

La chiesa di San Giovannello, austera e spoglia, difficilmente conquista l'attenzione dei visitatori che, a Gerace, sono distratti da opere imponenti per dimensione qualità architettonica. La chiesa invece è uno degli esempi più antichi dell'architettura bizantina in Calabria e la nuova documentazione è destinata tanto alla conservazione che alla valorizzazione del bene.

Il rilievo strumentale è stato condotto nel settembre 2023 con il laser scanner Faro Focus 3D X330. Sono state eseguite 5 scansioni interne e 12 esterne. La precisione dello strumento per ogni singola scansione è pari a  $UcRanging=0.496$  m, la nuvola di punti che descrive la chiesa è formata dall'allineamento delle singole scansioni. Le nuvole allineate generano le cosiddette "tensioni dei punti di scansione" che indicano la discrepanza le coppie di scansioni allineate. Il valore medio della tensione è, di norma, un indicatore attendibile della qualità del rilievo strumentale.

Nel caso di S. Giovannello queste ultime sono trascurabili se consideriamo la modesta dimensione dell'edificio e la morfologia, irregolare, delle superfici.

La chiesa è stata rilevata integrando il rilievo strumentale da terra con quello fotogrammetrico che ha utilizzato immagini da drone. Le due nuvole di punti sono state collegate attraverso il software di gestione delle nuvole di punti ReCap. Il rilievo strumentale fornisce dunque un modello digitale, agile, indispensabile per le analisi strutturali e formali.

La valorizzazione di un bene è connessa strettamente alla piena comprensione del suo portato culturale. Un rilievo analitico consente la verifica delle ipotesi sul tracciamento dell'opera e sulle geometrie ad essa sottese (Fig. 8). Le chiesette a navata unica, costruite secondo il rito orientale, infatti, hanno spesso una morfologia irregolare, rispettano precisi canoni geometrici e proporzionali, sono orientate seguendo la direzione della luce solare. Per l'analisi di questa architettura si è pensato di verificare la corrispondenza fra le misure ottenute attraverso il rilievo strumentale integrato e le unità di misura diffuse nel territorio all'epoca della fondazione.

Attraverso la perfetta ricostruzione della pianta è possibile verificare se al momento del tracciamento si è utilizzato il piede bizantino (in quest'opera pari a 29,3 cm) e il cosiddetto passo doppio (pari ad un

modulo di 5 piedi bizantini). In questo edificio la geometria della planimetria, fortemente deformata, non lascia individuare in modo univoco il tracciato geometrico sotteso. Le analisi condotte sono riferite al perimetro interno della sala, qui si può notare che la misura del fronte occidentale della chiesa è pari a 3 passi doppi, mentre l'asse di simmetria è pari a 5 passi doppi. L'angolo a nord-ovest è quasi a  $90^\circ$  si potrebbe ipotizzare che il tracciamento sia partito da questo lato utilizzando la corda a nodi. I due lati lunghi sono molto diversi (la differenza è pari a circa 50 cm) quello esposto a nord forma con la base un rapporto aureo mentre quello a sud è pari a 7.64 m.

Con la realtà aumentata si potrà osservare, contemporaneamente, la morfologia della chiesa e i suoi tracciati regolatori; si potrà connettere il bene ad altri luoghi di culto omogenei per morfologia e fondazione, alcuni vicinissimi, come la chiesa di S. Teodoro-Annunziata di Gerace, altri remoti ma archetipici come gli esempi cappadoci.

Sperimentazioni di realtà aumentata potrebbero consentire di visualizzare all'interno delle pareti nude della chiesa le ipotesi ricostruttive dell'apparato iconografico che era presente, oppure ripercorrere, attraverso l'iconografia bizantina, la vita di San Giovanni Crisostomo a cui era dedicata la chiesa (Fig. 9).

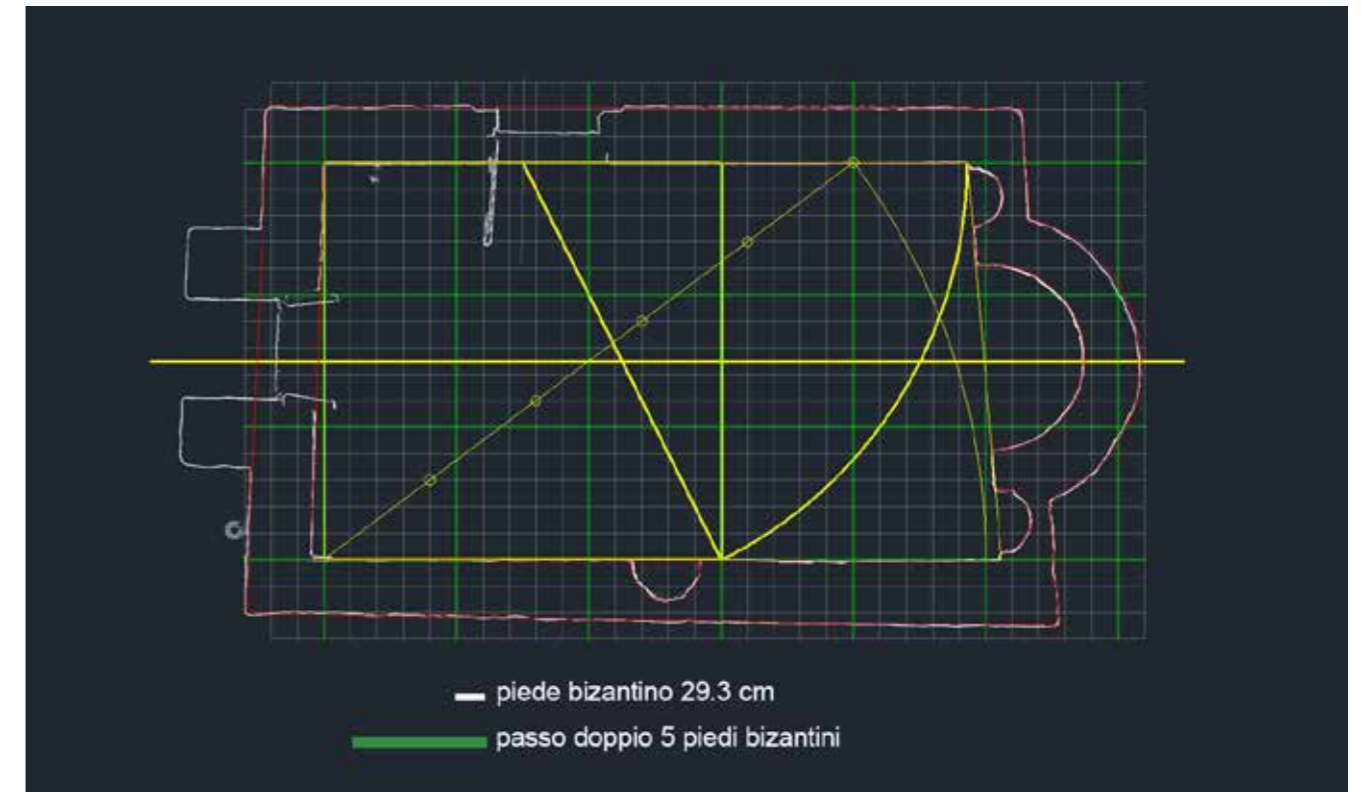


Fig.8 - Tracciati regolatori pianta S. Giovannello.



Fig.9 - Simulazione realtà aumentata interno chiesa S. Giovannello.

## BIBLIOGRAFIA

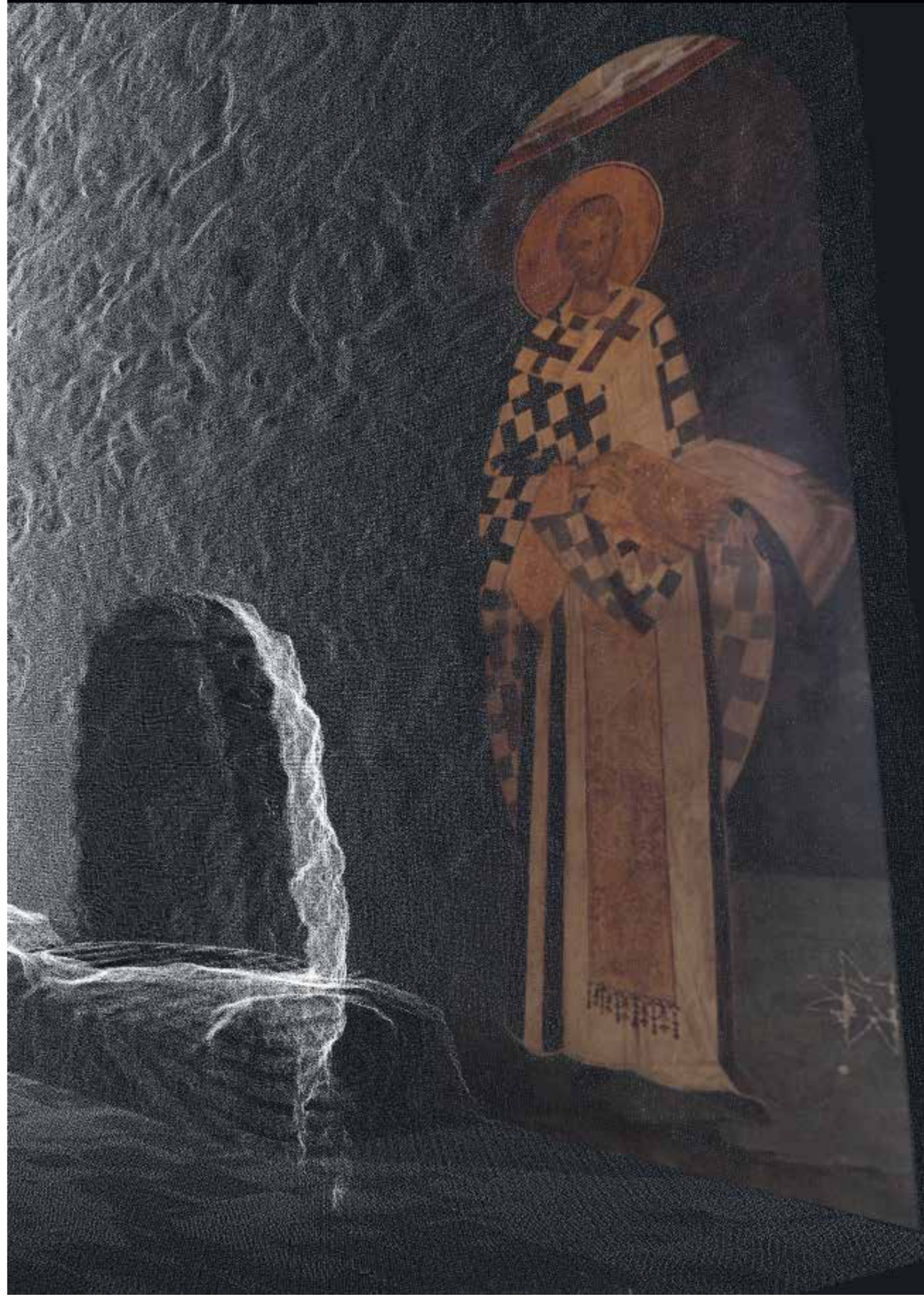
Amin, D., Govilkar, S., (2015). Comparative Study of Augmented Reality SDK's. In *International Journal on Computational Science & Applications* 5(1), pp. 11-26.

Bolognesi, C., Garagnani, S. (2018). From a Point Cloud Survey to a Mass 3d Modelling: Renaissance Hbim in Poggio A Caiano. In *Int. Arch. Photogram. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2, pp. 117-123.

Paolini P. (1969). La chiesa basiliana di San Giovannello in Gerace (Reggio Calabria) dopo l'intervento di consolidamento e restauro. In *AA. VV. Atti del 4° Congresso Storico Calabrese*, pp. 301-306. Napoli: Fausto Fiorentino Editore.

UNI 11337:2017-4. Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti

Zanetto, S. (2017). *Tradizioni costruttive nell'Alto e Medio Adriatico (secoli VII-XI). Eredità e innovazione nell'alto medioevo*, Firenze: All'insegna del Giglio.



# GESTIONE DEI MODELLI OPEN H-BIM PER L'INTEROPERABILITÀ DEI DATI

## MANAGEMENT OF OPEN H-BIM MODELS FOR DATA INTEROPERABILITY

### AUTHOR

**Stefano Bertocci<sup>1</sup>, Marco Ricciarini<sup>2</sup>, Francesca Galasso<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura

<sup>2</sup> Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura

### EMAIL

[stefano.bertocci@unifi.it](mailto:stefano.bertocci@unifi.it)

[marco.ricciarini@unipv.it](mailto:marco.ricciarini@unipv.it)

[francesca.galasso@unipv.it](mailto:francesca.galasso@unipv.it)

## KEYWORDS

RAPPRESENTAZIONE DIGITALE

H-BIM

OPENBIM

INTEROPERABILITÀ

IFC

## ABSTRACT

L'implementazione del protocollo open-BIM incontra difficoltà a causa della mancanza di un linguaggio unificato per gli elementi del progetto, che influisce sulla condivisione delle informazioni. L'applicazione delle tecniche Scan2-openBIM consente di collegare le rappresentazioni digitali con le proprietà del Prezzario dei Lavori Pubblici, semplificando questo processo.

*The implementation of the openBIM protocol faces challenges due to the lack of a unified language for project elements, which impacts information sharing.*

*The application of Scan2-openBIM techniques allows for linking digital representations with the properties of the Public Works Price List, simplifying this process.*

## PREMESSA

L'architettura ha attraversato una trasformazione radicale nei suoi metodi di rappresentazione, passando dalla manualità soggettiva del disegno alla standardizzazione delle rappresentazioni con l'adozione di sistemi digitali informativi, rispecchiando le esigenze in continuo mutamento della società e del settore delle costruzioni [Bertocci et al., 2020].

In passato, l'architettura era rappresentata principalmente attraverso disegni manuali e il disegno rifletteva non solo la visione tecnica dell'architetto ma anche la sua espressione artistica [Warburg, 2011]. La precisione e l'accuratezza dei progetti dipendevano dall'abilità manuale del progettista e dalla qualità degli strumenti utilizzati. Sebbene affascinante e ricca di valore artistico, il disegno presentava alcune limitazioni significative ad una richiesta sempre maggiore di standardizzazione dei linguaggi grafici espressivi.

Particolare attenzione viene data alla metamorfosi e al rinnovamento dovuti all'avvento dell'informatica e della computer graphics. Con l'avvento delle tecnologie digitali, l'architettura ha iniziato a evolversi verso metodi di rappresentazione più standardizzati e ha trasformato la visione dello spazio e delle opere edili in modo sostanziale determinando un concetto "moderno" di grafica [Diotto, 2016]. Le implicazioni che ne derivano si manifestano in molteplici modi di leggere e narrare il progetto architettonico, soprattutto in relazione alle attuali esigenze di oggettivazione nella gestione del processo edilizio e nelle rappresentazioni architettoniche digitali attraverso l'utilizzo del Building Information Modeling (BIM).

Il presente contributo si propone di esaminare le trasformazioni metodologiche e tecniche che stanno rivoluzionando la pratica architettonica in relazione alla standardizzazione delle rappresentazioni architettoniche e dei processi edilizi, nonché all'adozione di protocolli e formati openBIM per una migliore gestione delle informazioni di progetto.

## LA GESTIONE OPENBIM DEL PROCESSO EDILIZIO E L'INTEROPERABILITÀ DI DATI

Utilizzato come metodo di gestione del processo edilizio, il BIM si propone come uno strumento dedicato ad una standardizzazione dei metodi di rappresentazione e gestione, facilitando lo scambio e l'in-

teroperabilità delle informazioni, grazie soprattutto all'adozione di formati openBIM (Fig. 1) [Bonini et al., 2021; Sanseverino et al., 2021; Osello et al., 2015].

In questo ambito, l'Industry Foundation Classes (IFC) rappresenta una specifica aperta per il BIM, garantendo lo scambio di dati tra diverse applicazioni software [Borin et al., 2020]. Gli IFC permettono di rappresentare le caratteristiche geometriche, spaziali e alfanumeriche degli elementi edilizi, migliorando la qualità delle informazioni scambiate e riducendo gli errori derivanti dalla conversione dei dati. La principale barriera all'implementazione e all'utilizzo del formato IFC è rappresentata dalla difficoltà di attuare i protocolli aperti openBIM per tutte le fasi di realizzazione e gestione del progetto edilizio.

A livello europeo, il Regno Unito è spesso citato come esempio positivo di adozione del BIM e degli standard IFC. La strategia BIM Level 2, implementata a partire dal 2016, ha obbligato l'uso del BIM per tutti i progetti pubblici, portando a miglioramenti significativi nella qualità e nell'efficienza dei progetti edilizi. Tuttavia, anche qui, le sfide legate all'interoperabilità

<sup>1</sup> Secondo buildingSmart, "I processi openBIM possono essere definiti come informazioni di progetto condivisibili che supportano una collaborazione continua per tutti i partecipanti al progetto. openBIM facilita l'interoperabilità a vantaggio di progetti e risorse durante tutto il loro ciclo di vita". Cfr. buildingSMART, 2023 (<https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/>)

<sup>2</sup> Gli IFC sono un formato di dati basato su standard internazionali (norma ISO 16739-1:2018) che definiscono una specifica aperta per la rappresentazione dei dati BIM. La struttura degli IFC è organizzata in modo gerarchico e modulare, consentendo di descrivere un'ampia gamma di elementi edilizi, inclusi edifici, componenti strutturali, impianti meccanici, elettrici e idraulici. Gli IFC sono composti da entità, attributi e relazioni che definiscono le caratteristiche fisiche e funzionali degli elementi costruttivi. Lo standard internazionale IFC è riconosciuto dall'International Organization for Standardization. Per un approfondimento normativo, cfr. <https://www.iso.org/standard/70303.html>

<sup>3</sup> Nonostante l'incremento del numero di pubblicazioni sul tema e il lavoro di costante aggiornamento dei parametri informativi di buildingSMART, le pratiche di esportazione ed importazione delle informazioni risultano ancora poco chiare per uno sviluppo effettivo ed efficace del processo di lettura e scrittura dei file in formato open. Per un approfondimento, cfr. Vieira et al., 2020; Justo et al., 2021.

<sup>4</sup> L'obbligo del BIM entra pienamente in vigore per una vasta gamma di progetti pubblici superiori a un milione di euro: è quanto previsto dal nuovo codice appalti (D.lgs. 36/2023) che conferma l'impostazione già data dal vecchio codice e il D.M. 312/2021. In particolare, l'art. 43 del nuovo Codice appalti prevede che "a decorrere dal 1° gennaio 2025, le stazioni appaltanti e gli enti concedenti adottano metodi e strumenti di gestione informativa digitale delle costruzioni per la progettazione e la realizzazione di opere di nuova costruzione e per gli interventi su costruzioni esistenti per importo a base di gara superiore a 1 milione di euro".

<sup>5</sup> Secondo il D.Lgs. 50/2016, art. 23, comma 1 "La progettazione in materia di lavori pubblici [...] è intesa ad assicurare: [...] b) la razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture".

tra diversi software e sistemi utilizzati dai vari stakeholder sono state significative [Georgiadou, 2019]. In Norvegia, l'agenzia governativa Statsbygg richiede l'uso degli standard openBIM per tutti i nuovi progetti. Questo ha portato a una maggiore efficienza e sostenibilità nei progetti, ma ha anche evidenziato la necessità di un significativo investimento in formazione e aggiornamento delle infrastrutture tecnologiche per raggiungere una piena implementazione dei protocolli openBIM [Bui et al., 2019].

Nel caso italiano, la transizione al BIM sta rappresentando uno dei capisaldi del processo di digitalizzazione delle amministrazioni pubbliche italiane, che saranno costrette, a partire dal prossimo anno, ad adottare "metodi e strumenti di gestione informativa digitale delle costruzioni" (art. 43, D.lgs. 36/2023) al fine di garantire una corretta progettazione e costruzione delle opere edili, nonché di gestire tutti gli adempimenti burocratici in regime di interoperabilità tra piattaforme certificate. In tal senso, l'utilizzo di formati aperti per la gestione del processo informativo è introdotto per assicurare la "razionalizzazione" delle attività di progettazione e delle connesse verifiche [Lo Turco et al., 2022; Fonsati et al., 2021]. Nonostante l'uso del BIM migliori la pianificazione e la gestione del cantiere, l'integrazione completa dei protocolli openBIM sta richiedendo un notevole sforzo in termini di coordinamento tra i vari stakeholder e di formazione continua del personale coinvolto [Ciribini et al., 2016]. Parallelamente alla gestione dei formati aperti, l'assenza di un linguaggio specifico condivisibile utile ad identificare gli elementi di progetti edilizi determina una carenza in termini di condivisione e trasmissibilità delle informazioni associate ai tali modelli [Fronk, 2020].

Tale problematica si traduce in un'estesa incoerenza delle informazioni, venendo meno al principio di interoperabilità e lettura oggettiva dei dati.

A fronte di una auspicata interoperabilità delle informazioni, l'industria delle costruzioni non necessita solo di munirsi di modelli di dati standardizzati utili ad una informatizzazione aperta, ma anche di una rappresentazione condivisa dei processi e degli elementi edili.

## LA STANDARDIZZAZIONE DELLE COMPONENTI EDILI E IL PREZZARIO DEI LAVORI PUBBLICI

Ancor prima dell'avvento del digitale, lo scambio di informazioni ha da sempre richiesto la presenza di standard (o codici) tra i diversi ambiti della società [Eco, 1973]. Attualmente anche l'ambito delle costruzioni, all'interno del quale il BIM è impiegato al pieno delle sue potenzialità, viene investito da questa necessità di standardizzazione [Dell'Amico, 2020]. Le grandi opere edili internazionali in cui il progetto è difficilmente gestito da un'unica organizzazione, ma più comunemente da un network di imprese, necessitano di regole e definizioni condivise che permettano di gestire e certificare lo scambio di informazioni.

Nella fattispecie dell'edilizia pubblica italiana, tali difficoltà si accentuano anche in relazione all'assenza di strumenti progettuali standardizzati a livello nazionale, generando equivoci in fase di progettazione e presentazione delle proposte in fase di gara.

Un esempio di tale criticità si ritrova nell'ampia varietà di terminologie locali associate ad una stessa lavorazione utilizzata a livello nazionale. Questo

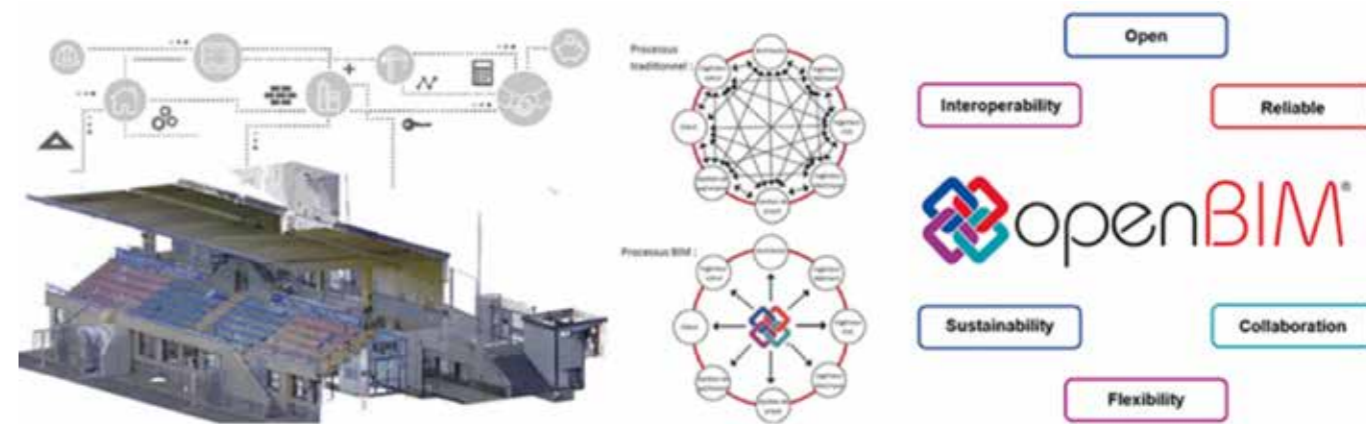


Fig. 1 - Rappresentazione visiva dei vantaggi e del flusso di lavoro di openBIM: il diagramma contrasta i processi tradizionali con quelli BIM, evidenziando la maggiore collaborazione, interoperabilità, sostenibilità e flessibilità offerta dall'approccio openBIM nei progetti architettonici.

assortimento di dati disomogenei si riflette anche nel settore informativo, producendo nuove complessità aggiuntive alla descrizione di componenti edili all'interno dei processi BIM.

Un primo tentativo di standardizzazione nell'ambito dell'edilizia proviene dall'Agenzia del Demanio italiana, responsabile della gestione e valorizzazione del patrimonio immobiliare pubblico. L'adozione di un processo di digitalizzazione da parte dell'ente include una standardizzazione delle caratteristiche geometriche e funzionali degli elementi edilizi, nonché le specifiche prestazionali dei materiali da costruzione<sup>6</sup>.

Nonostante questo processo determini una conoscenza tecnica e approfondita dei beni pubblici esistenti sul territorio nazionale, andando oltre i semplici dati amministrativi, non risolve appieno le difficoltà che le stazioni appaltanti regionali incontreranno nella definizione delle regole e degli strumenti interoperabili utili ai progettisti che intendono partecipare alle gare d'appalto pubbliche.

Per questo motivo, diviene necessario individuare tra i molteplici strumenti normativi e tecnici attualmente presenti in ambito nazionale, quello più completo attualmente in uso.

Uno di questi, composto da dati omogeneamente strutturati costituenti una libreria predisposta, affidabile e di proprietà dell'amministrazione pubblica, è il Prezzario dei Lavori Pubblici.

Strutturato come un elenco codificato, diviene lo strumento di riferimento per la determinazione, nei contratti relativi a lavori pubblici, del costo dei prodotti, delle attrezzature e delle lavorazioni, supportando la standardizzazione degli elementi edilizi, basati su Normative e Regolamenti approvati in ambito nazionale ed europeo.

Tuttavia, è necessario evidenziare che l'utilizzo dei Prezzari come standard per il riconoscimento di oggetti digitali può comportare diverse problematiche, in quanto spesso le diciture sono incentrate sui processi e non su una tassonomia dei componenti architettonici.

Inoltre, il Prezzario è uno strumento che varia i propri dati secondo criteri regionali, diversi su tutto il territorio nazionale. Infine, il Prezzario non fornisce le caratteristiche figurative degli elementi, ma si propone di concettualizzare le proprietà e gli attributi di prodotti e lavorazioni.

Nonostante le difficoltà riscontrate, il Prezzario si presta ad essere la soluzione ottimale per produrre un metodo di standardizzazione di dati che

necessitano di essere interoperabili in ambiente digitale attraverso un framework automatizzato teso a garantire la coerenza delle informazioni nei documenti di gara basati su prezzari regionali (Gatto et al., 2023).

Utilizzando tecniche di inferenza semantica e regole basate su modelli BIM (Gatto et al., 2023), questo approccio ha migliorato l'accuratezza dei preventivi di costo e ridotto gli errori umani, aumentando la trasparenza nei processi di appalto pubblico, senza dare chiare indicazioni sulla rappresentazione dei componenti edilizi.

La capacità del Prezzario di garantire un alto livello di coerenza e compatibilità lo rende una scelta preferenziale nel contesto delle attuali esigenze amministrative. In particolare, si evince la necessità di strutturare un protocollo in grado di garantire non solo una rappresentazione coerente dei componenti edilizi, ma anche di mantenere una corretta semantica delle componenti analitiche del Prezzario nella traduzione digitale, ma anche una corrispondenza massima rispetto ai prodotti e lavorazioni reali, senza alcuna ambiguità.

Tali esigenze trovano una prima soluzione nella produzione di una libreria digitale di modelli BIM delle voci del Prezzario, in modo tale da gestire efficientemente il considerevole volume di dati testuali attraverso uno strumento informativo digitale tridimensionale. Il collegamento figurativo-analitico tra il modello 3D degli elementi costruttivi e le informazioni derivanti dal Prezzario si propone come una prima tappa nel percorso di trasformazione computazionale del sistema edilizio e dei processi ad esso associati.

Le informazioni che confluiscono nel modello e ne diventano parte integrante, aggiungono alla sola geometria informazioni di carattere tecnico, descrizione dei materiali e informazioni economiche, al fine di agevolare una progettazione più consapevole, rispetto alle richieste delle amministrazioni pubbliche.

<sup>6</sup> Nell'ambito delle gare gestite come Stazione Appaltante con l'applicazione del metodo BIM, l'agenzia ha sviluppato una piattaforma di condivisione dati chiamata UpDATE. Questa piattaforma contiene i modelli ottenuti dal processo di digitalizzazione del patrimonio immobiliare dello Stato, avviato dall'Agenzia stessa. UpDATE consente una conoscenza tecnica più completa dei beni gestiti, e, come strumento centrale nel processo collaborativo tipico del BIM, permette di mettere a disposizione informazioni, dati e modelli tra operatori e committenza.

<sup>7</sup> Costruito tra il 1938 e il 1941, lo "Stadio Lungobisenzio" di Prato è ampiamente conosciuto per la sua importanza culturale e sportiva in tutto il territorio toscano e si configura come un piccolo esempio di patrimonio impiantistico sportivo del secondo dopoguerra. Cfr. Tatti et al., 2012.

## PROCESSI H-BIM E CONDIVISIONE DEGLI OPENDATA

Al fine di sperimentare una metodologia operativa che permettesse di ottenere una libreria BIM interoperabile e standardizzata sulla base delle voci di Prezzario, è stato scelto di impiegare tecniche di Scan2-OpenBIM ad un caso studio, il centro sportivo "Stadio Lungobisenzio" di Prato, in Italia.<sup>7</sup> La tribuna principale è stata più volte ristrutturata e restaurata nel tempo e ciò che contraddistingue l'edificio sono le imponenti strutture di cemento armato e la varietà degli elementi che la compongono, rendendola un caso studio ideale per la costruzione di un modello informativo (Fig. 2). La necessità di riqualificare il patrimonio esistente è quanto mai cogente, soprattutto in Italia dove il comparto edilizio è vasto e sempre più bisognoso di interventi di restauro, ristrutturazione e adeguamento [Empler, 2021]. La gestione delle informazioni all'interno degli enti pubblici e amministrativi è ancora piuttosto macchinosa, con documentazione storica a corredo di elaborati cartacei, dati catastali e analisi di varia natura. La possibilità di indagare possibilità e criticità nella strutturazione di database di dati interoperabili e nella loro condivisione permetterà di produrre un workflow in grado non solo di velocizzare le fasi di costruzione e semantizzazione dei modelli, ma anche di organizzare il flusso di informazioni che confluiscono in essi, attraverso una comunicazione diretta tra modelli informativi e dati del Prezzario.

Per garantire la massima accuratezza e affidabilità delle informazioni geometriche e descrivere tutte le complessità dell'impianto, è stata condotta una campagna di documentazione digitale integrata [Parrinello et al., 2023], sia con l'utilizzo di Laser Scanner Terrestre<sup>8</sup> (TLS) che con tecniche di foto-

grammetria SfM da terra<sup>9</sup> (Fig. 3). Inoltre, l'accesso elevato dalla torretta principale ha consentito di acquisire anche le coperture della tribuna, generando così una banca dati completa per ogni area. Infine, l'elaborazione digitale dei dati acquisiti ha permesso di produrre un database tridimensionale tramite il quale è stato possibile redigere elaborati tecnici bidimensionali, completi di dato colorimetrico (Fig. 4).

Sulla base della nuvola di punti e degli elaborati 2D è stato possibile produrre un modello informativo BIM dell'impianto, utile sia alla sua rappresentazione che ad una gestione consapevole dei locali e delle strutture. Per facilitare il processo di rappresentazione 3D, il modello è stato scomposto nelle componenti strutturali e nelle componenti architettoniche, per poi scendere progressivamente nei dettagli. La nuvola di punti è stata sezionata in corrispondenza dei piani strutturali, per tenere sotto controllo i numerosi elementi costruttivi dell'impianto per tutti i suoi livelli. Successivamente, i vari elementi che costituiscono l'edificio sono stati analizzati e semantizzati, individuando così un abaco di oggetti architettonici con specifiche caratteristiche geometriche parametriche analitiche (Fig. 5).

Ogni elemento individuato in fase di modellazione è stato codificato secondo la nomenclatura del Prezzario, con l'obiettivo di provare a stabilire un nesso univoco con esso, ottenendo infine un oggetto digitale con caratteristiche geometriche e grafiche simili a quelle del suo corrispettivo reale, con l'aggiunta di informazioni tecniche ed economiche.

Le informazioni, le proprietà, le specifiche normative di ogni elemento e il relativo costo sono stati integrati come parametri testuali e/o numerici, anche derivanti da formule, al fine di una libreria strutturata di modelli intelligenti [Parrinello et al., 2023].



Fig. 2 - La tribuna centrale dello Stadio Lungobisenzio di Prato, Italia.

Una prima valutazione ha evidenziato alcune criticità, fra le quali la presenza di modelli eccessivamente complessi, a causa della presenza di un elevato numero di parametri per descrivere il prodotto.

Questo è dovuto al fatto che ogni voce del Prezzario è composta da un alto numero di informazioni disomogenee, che necessitano una prima classificazione, permettendo di escludere quelle meno rilevanti ai fini della sperimentazione. Ad esempio, all'interno del Prezzario, la voce "Posa in Opera" legata al prodotto "Finestra" dipende dalla metratura del vano. Per questo motivo, all'interno del modello digitale è stato necessario impostare delle formule condizionali che permettessero sia di valutare il costo della posa in relazione all'area della finestra, che il codice alfanumerico associato alla voce di Prezzario. Risolte le prime difficoltà legate alla progettazione parametrica dei singoli prodotti, è stato effettuato un primo test di definizione in formato open degli elementi, al fine di determinare la valenza operativa del processo di esportazione dei modelli e delle informazioni in formato openBIM.

Questo scambio informativo prevede lo sviluppo delle entità e l'organizzazione delle informazioni associate ad esso attraverso una loro "mappatura" [Biagini et al., 2023].

In tal senso, il prodotto IFC è determinato da un sistema di traduzione (mapping) tra la struttura digitale dell'elemento e le classi IFC e da una differenziazione dei property set comuni e personali. In particolare, i dati relativi alla codifica (ifcName) e alla descrizione (ifcDescription) dell'elemento o della lavorazione sono stati esportati attraverso l'utilizzo di parametri condivisi e forniti da buildingSMART per gli utilizzatori. Differentemente, per le altre tipologie di informazioni, intese come un insieme di proprietà dinamicamente estensibili<sup>10</sup>, è stato necessario generare dei PropertySet personalizzati, così da associare specifiche proprietà ai modelli digitali.

## CONCLUSIONI

Il digital twin dello Stadio di Prato, costituito da elementi densi di informazioni relative al Prezzario dei Lavori Pubblici, facilita la lettura delle componenti edilizie e si configura come un utile strumento di manutenzione dell'impianto sportivo. La mappatura delle informazioni geometriche, analitiche ed estimative in formato openBIM rende la rappresentazione dell'impianto facilmente condivisibile, costituendosi come una libreria di oggetti univoci utilizzabili da enti pubblici per fini progettuali. Questo esempio può costituire un positivo esperimento per la redazione di capitolati e computi metrici direttamente connessi alla nomenclatura e alla codifica del Prezzario, garantendo una lettura universale e consultazione consapevole del modello digitale.

Le difficoltà riscontrate in fase di scelta e strutturazione dei parametri, non ancora del tutto risolte per elementi più complessi, evidenziano la necessità di strutturare un metodo che consenta una lettura semplificata delle voci di Prezzario e dell'implementazione di queste ultime nei modelli digitali.

Nonostante questo, la costituzione di un modello interoperabile altamente affidabile non si conclude con il semplice utilizzo dello strumento di esportazione in formato aperto. Conoscere le potenzialità del formato impiegato dalla filiera dei soggetti operanti nel processo edilizio aumenta la capacità di strutturare flussi open BIM sempre più diffusi, articolati e affidabili.

<sup>8</sup> Per la documentazione digitale tramite TLS della tribuna centrale, sono state effettuate circa 100 scansioni con un laser Z+F 5006h, tra ambiente esterno e locali interni. L'elaborazione è avvenuta attraverso sistemi semi-automatici di allineamento cloud2cloud a seguito di un pre-allineamento basato su punti morfologici, garantendo massimo controllo del prodotto finale.

<sup>9</sup> Durante la campagna fotogrammetrica sono state scattate circa 1000 fotografie. Per documentare completamente la tribuna, è stato necessario allontanarsi progressivamente per acquisire anche le parti più alte.

<sup>10</sup> Un insieme di proprietà può includere una o più caratteristiche che possono assumere vari tipi di valore: un singolo valore (come una stringa, un numero o un'unità di misura), un valore limitato (con un minimo e un massimo), un'enumerazione, un elenco di valori, una tabella di valori o un dato strutturato. Sebbene l'IFC definisca diverse centinaia di insiemi di proprietà per tipi specifici, fornitori di applicazioni o utenti finali possono anche definire insiemi di proprietà personalizzate.

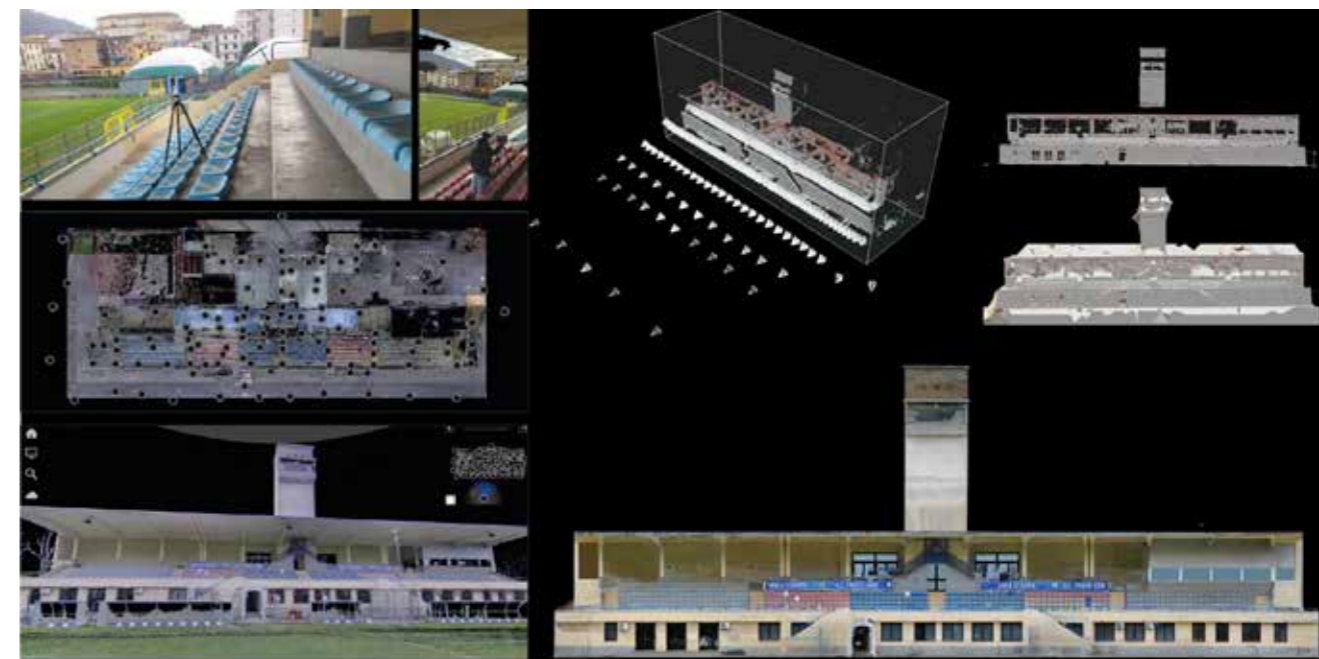


Fig. 3 Attività di documentazione digitale integrata. Sulla sinistra, l'acquisizione attraverso TLS e successiva elaborazione della nuvola di punti. Sulla destra, documentazione fotogrammetrica della tribuna centrale e sviluppo dell'ortoimmagine dal software Reality Capture.



Fig. 4 - Attraverso l'uso di metodologie di documentazione integrata, si sono potuti sviluppare disegni bidimensionali altamente affidabili per comprendere le relazioni architettoniche tra gli elementi dell'impianto sportivo.

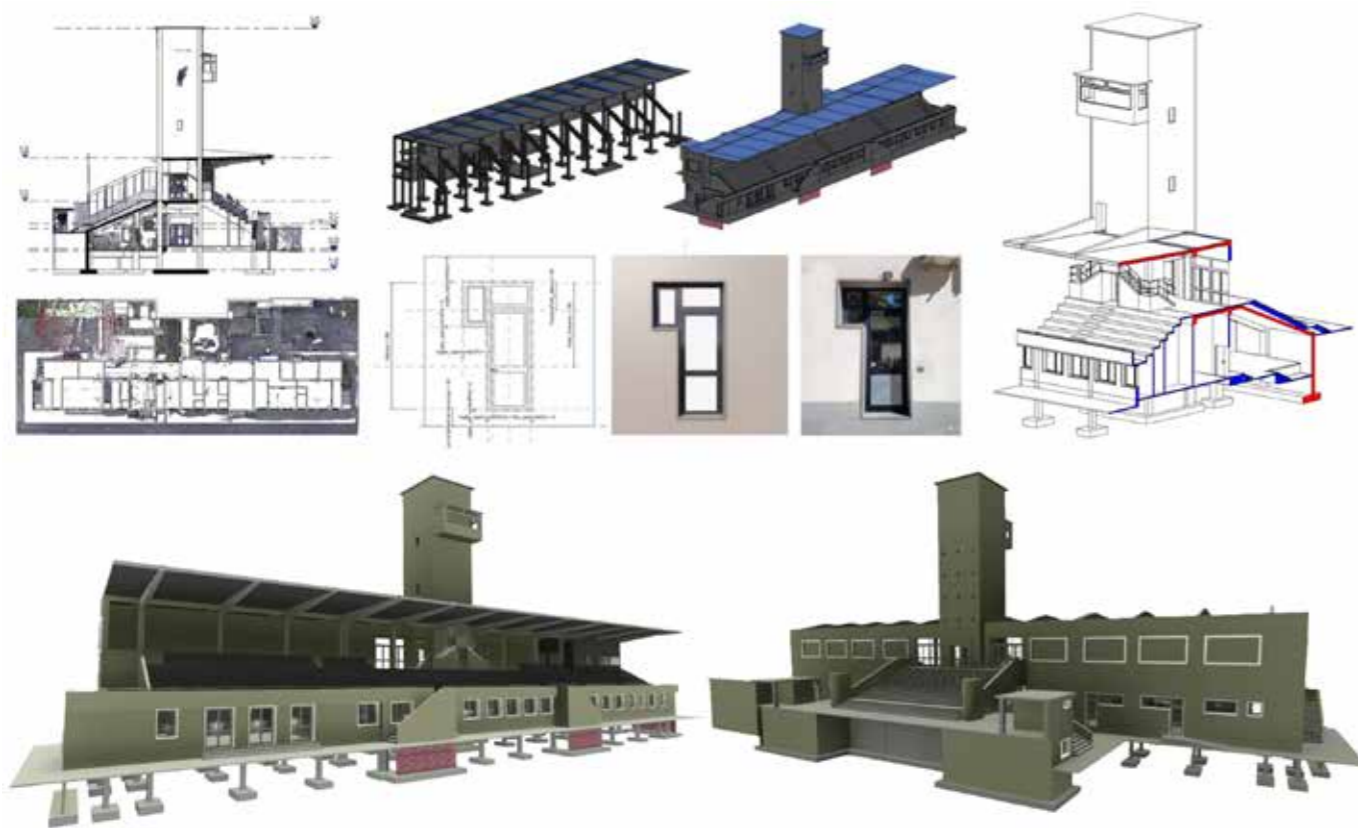


Fig. 5 - Modellazione parametrica del caso studio. La scomposizione dell'opera nell'impianto strutturale e in quello architettonico ha permesso di produrre un abaco informativo delle componenti costruttive, garantendo massimo controllo dei singoli elementi digitali.



Fig. 6 - Il processo Scan2-openBIM ha permesso di esportare gli elementi codificati del modello 3D in formato IFC secondo i parametri geometrici del modello (BaseQuantities), i parametri informativi (IFC Parameters) e gruppi di proprietà personali (PropertySet).

## BIBLIOGRAFIA

Bertocci, S., La Placa, S., Ricciarini, M. (2020). Architectural Language, Between Narration and Architectural Representation. In: Cicalò, E. (a cura di). *Proceedings of the 2nd International and Interdisciplinary Conference on Image and Imagination*. IMG 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1140, pp. 726-738. Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41018-6\\_59](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41018-6_59)

Biagini, C., Bongini, A. (2024). BIM and Data Integration: A Workflow for the Implementation of Digital Twins. In: Giordano, A., Russo, M., Spallone, R. (a cura di). *Beyond Digital Representation. Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction*, pp. xx-xx. Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-36155-5\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-031-36155-5_53)

Bonini, J. A., Mandelli, A., De Gennaro, S. M., Banfi, F. (2021). BIM Interoperability: Open BIM-Based Workflow for Heritage Building Information Modelling (HBIM). A Multidisciplinary Approach Based on Advanced 3D Tools and Exchange Formats. In *Proceedings of the joint international event 9th ARQUEOLÓGICA 2.0 & 3rd GEORES*, Valencia (Spain), 26-28 April 2021, pp. 159-169

Borin, P., Zacchetta, C. (2020). *IFC: Processi e modelli digitali openBIM per l'ambiente costruito*. Santarcangelo di Romagna (RN): Maggioli Editore.

Bui, N., Merschbrock, C., Munkvold, B. E. and Hjelseth, E. (2019). Role of an innovation community in supporting BIM deployment: the case of buildingsmart Norway. In: P. De Wilde, L. Mahdjoubi, A. Garrigós Garrigos (a cura di). *WIT Transactions on the Built Environment. Vol. 192*, Lisbona, 12 - 14 Luglio 2022, pp. 329-342. <https://doi.org/10.2495/BIM190281>

buildingSMART International. (2023). *Industry Foundation Classes (IFC)*. <https://www.buildingsmartitalia.org/standard/standard-bs/industry-foundation-classes-ifc/>

Ciribini A.L.C., Mastrolembro Ventura, S., Paneroni, M. (2016). Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM Pilot Project. In *Automation in Construction*, 71, pp. 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.005>

Dell'Amico, A. (2020). H-BIM: Information Flows and Data Digitization Processes. In *Dn*, 7/20, pp. 54-67.

Diotto, M. (2016). *Graphic and Digital Designer. Una Professione Proiettata nel Futuro*. Limena PD: Libreriauniversitaria.it Edizioni.

Docci, M., Migliari, R. (1992). *Scienza della Rappresentazione*. Milano: CittàStudi.

Eco, U. (1973). *Il Segno*. Milano: Istituto Editoriale Internazionale.

Empler, T., Caldarone, A., Rossi, M. L. (2021). BIM Survey. Critical Reflections on the Built Heritage's Survey. In: Bolognesi C., Villa A. (a cura di). *From Building Information Modelling to Mixed Reality*, pp. xx-xx. Cham: Springer.

Fonsati, A., Osello, A., De Marco, A. (2021). OpenBIM Methods and Tools for Schedule and Cost Management. In: Rodrigues, H., Gaspar, F., Fernandes, P., Mateus, A. (a cura di). *Sustainability and Automation in Smart Constructions. Advances in Science, Technology & Innovation*, pp. 37-43. Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-35533-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-35533-3_6)

Fronk, A. (2020). La gestione di un progetto openBIM: la Nuova Scuola Politecnica di Genova. In: Corradori M. (a cura di). *Usa del dato interoperabile ed approccio open nei processi informativi delle costruzioni*, pp. 29-38.

Gatto, C., Gholamzadehmir, M., Zampogna, M., Mirarchi, C., Pavan, A. (2023). An Automated Framework for Ensuring Information Consistency in Price List Tendering Document. In Pietro Capone, Vito Getuli, Farzad Pour Rahimian, Nashwan Dawood, Alessandro Bruttini, Tommaso Sorbi (a cura di) *CONVR 2023 - Proceedings of the 23rd International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*. Firenze, 13-15 Novembre 2023, pp. 841-851. Firenze: Firenze University Press.

Georgiadou, M. C. (2019). An overview of benefits and challenges of building information modelling (BIM) adoption in UK residential projects. In *Construction innovation*, 19(3), 298-320. <http://dx.doi.org/10.1108/CI-04-2017-0030>

Justo, A., Soilán, M., Sánchez-Rodríguez, A., Riveiro, B. (2021). Scan-to-BIM for the Infrastructure Domain: Generation of IFC-compliant Models of Road Infrastructure Assets and Semantics using 3D Point Cloud Data. In *Automation in Construction*, 127, 103703. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103703>

Osello A., Acquaviva A., Dalmaso D., Erba D., Del Giudice M., Macii E., Patti E. (2015). BIM and Interoperability for Cultural Heritage through ICT. In Brusaporci, S. (a cura di). *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, pp. 274-291. Hershey: IGI Global.



Parrinello, S., Picchio, F. (2023). Digital Strategies to Enhance Cultural Heritage Routes: From Integrated Survey to Digital Twins of Different European Architectural Scenarios. In *Drones*, 7(9):576. <https://doi.org/10.3390/drones7090576>

Parrinello, S., Sanseverino, A., Fu, H. (2023). HBIM Modelling for the Architectural Valorisation via a Maintenance Digital Eco-System. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 1157-1164. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1157-2023>

Sanseverino, A., Ferraris, V., Barbato, D., Messina, B. (2021). Un approccio collaborativo di tipo BIM per colmare distanze fisiche, sociali e culturali/A BIM collaborative approach to overcome physical, social, and cultural distances. In: Arena, A., Arena, M., Mediat, D., Raffa, P. (a cura di). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere. Linguaggi Distanze Tecnologie. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Connecting. Drawing for Weaving Relationships. Languages Distances Technologies*. Milano: FrancoAngeli, pp. 1814-1831.

Tatti, G., Fontanelli, C., Ancilotti, L. (2012). *A.C. Prato - Oltre un Secolo in Biancazzurro*. Empoli: GeoEdizioni.

UNI EN ISO 16739-1:2020 - Industry Foundation Classes (IFC) per la condivisione dei dati nell'industria delle costruzioni e del facility management.

Vieira, R., Carreira, P., Domingues, P., Costa, A. A. (2020). Supporting Building Automation Systems in BIM/IFC: Reviewing the Existing Information Gap. In *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(6), pp. 1357-1375. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2019-0680>

Warburg, A. (2011). *Frammenti sull'espressione*. Edizione critica a cura di Susanne Müller, traduzione di Maurizio Ghelardi e Giovanna Targia. Pisa: Edizioni Della Normale

## RINGRAZIAMENTI

Il progetto di ricerca di questo articolo è stato sviluppato da Lorenzo Arena e Filippo Daini nell'ambito della tesi di laurea magistrale "Centro Sportivo "Stadio Lungobisenzio" di Prato". Scan2BIM: dal modello BIM alla semantizzazione del Prezzario" (relatore: Prof. Arch. Stefano Bertocci, Co-Advisor: Prof. Arch. Marco Ricciarini).



# HBIM PER LA CONSERVAZIONE E VALORIZZAZIONE DELLA BASILICA DI SAN MINIATO AL MONTE: UN APPROCCIO INNOVATIVO ALLA GESTIONE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO APPROFONDITO NEL CASO STUDIO DEL TABERNACOLO DI MICHELOZZO

*HBIM FOR THE CONSERVATION AND ENHANCEMENT OF THE BASILICA OF SAN MINIATO AL MONTE: AN INNOVATIVE APPROACH TO THE MANAGEMENT OF ARCHITECTURAL HERITAGE EXPLORED IN THE CASE STUDY OF MICHELOZZO'S TABERNACLE*

AUTHOR

**Matteo Bigongiari<sup>1</sup>, Giovanni Pancani<sup>1</sup>, Andrea Pasquali<sup>1</sup>, Luca Chiavacci<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Università degli studi di Firenze, Dipartimento di Architettura

EMAIL

matteo.bigongiari@unifi.it;  
giovanni.pancani@unifi.it  
andrea.pasquali@unifi.it  
luca.chiavacci1@edu.unifi.it

## KEYWORDS

HBIM;  
BASILICA DI SAN MINIATO AL MONTE;  
CONSERVAZIONE;  
VALORIZZAZIONE;  
PATRIMONIO ARCHITETTONICO

## ABSTRACT

Il paper tratta il contesto della Basilica di San Miniato al Monte a Firenze nel quale l'applicazione dell'HBIM ha rappresentato un caso studio significativo per dimostrare l'efficacia di questa metodologia.

Il rilievo architettonico digitale, ha consentito di acquisire dati precisi e dettagliati delle superfici della basilica e degli elementi architettonici particolarmente significativi, come il Tabernacolo di Giovanni Michelozzo, parametrizzato nel modello 3D HBIM.

*The paper addresses the context of the Basilica of San Miniato al Monte in Florence, where the application of HBIM has represented a significant case study to demonstrate the effectiveness of this methodology. The digital architectural survey enabled the acquisition of precise and detailed data of the basilica's surfaces and particularly significant architectural elements, such as the Tabernacle by Giovanni Michelozzo, which was parameterized in the 3D HBIM model.*

## INTRODUZIONE

Questo contributo mette in evidenza le potenzialità e lo stato dell'arte della gestione del rilievo architettonico digitale con l'impiego di software BIM al fine di creare un modello 3D virtuale [Inzerillo, Lo Turco, Parrinello, Santagati, Valenti 2016, pp. 16.1-16.9] utile alla conservazione ed alla valorizzazione del Patrimonio architettonico. Lo studio presentato è strutturato sul percorso di conoscenza e sul processo di digitalizzazione dell'abbazia di San Miniato al Monte a Firenze [Gurrieri, Berti, Leonardi 1988], sviluppato in ambito di ricerca e collaborazione dal Dipartimento di Architettura di Firenze. L'ampiezza e la complessità dell'oggetto hanno richiesto di estendere le operazioni di rilevamento in più campagne di acquisizione, a partire dal 2018 [Pancani, 2020]. Ciò ha orientato questo paper a sviluppare la descrizione delle operazioni condotte su Tabernacolo di Michelozzo (Fig.1), prima componente restituita con l'ausilio di Piattaforme digitali BIM. Un primo workflow completo, che è stato conseguentemente applicato sull'intera basilica ed, in prospettiva futura, troverà completamento su tutto il sistema abbaziale.

## METODOLOGIE BIM ED IL PATRIMONIO ARCHITETTONICO

Lo studio presentato si inserisce nel panorama nazionale di ricerche ed esempi applicativi di metodologie BIM nella restituzione del rilievo architettonico (Bigongiari, Dellabartola 2023, pp. 102-113), esperienze in costante crescita che mostrano le possibilità fornite dalle recenti piattaforme di gestione del modello 3D digitale nella gestione delle informazioni raccolte in fase di acquisizione (Biagini, Donato 2014, pp. 442-449), dalle ricerche bibliografiche e da analisi specifiche. L'uso del metodo BIM nel rilievo architettonico del Patrimonio è comunemente definito Heritage BIM (Bertocci, Arrighetti, Bigongiari 2019, pp. 848-856).

Alle prime due fasi di digitalizzazione dell'edificio (acquisizione ed elaborazione), sviluppate parallelamente a ricerche d'archivio e studi conoscitivi, segue la restituzione. Nel HBIM la messa a sistema delle sintesi parziali delle diverse tipologie di dato raccolte punta a ottenere un modello tridimensionale completo a livello geometrico ed informativo, all'interno del quale è possibile consultare il data-

base raccolto ed aggiornarlo continuamente, adattandosi alle tempistiche di completamento del rilievo e della catalogazione in atto [Apollonio, Gaiani, Sun 2012, pp. 41-62]. Il BIM rappresenta l'avanguardia, per quanto riguarda le nuove tecnologie applicate al mondo dell'architettura, grazie alla possibilità di gestione del modello 3D creato e dei suoi contenuti in condivisione su strutture digitali cloud, che permettono modifiche in tempo reale in modalità remota. Questa caratteristica fornisce alle diverse competenze interessate nella gestione del Patrimonio architettonico (Fig. 2) una grande facilitazione di dialogo e di collaborazione alla completa digitalizzazione del Bene. Oltre a ciò, la particolarità generale del BIM è di mettere in relazione le informazioni tangibili con quelle intangibili [Balzani, Maietti, Mugayar Kühl 2017]. Questa particolarità diviene ancora più significativa nell'ambito del Patrimonio architettonico, perché fornisce più solide possibilità per la valorizzazione del Bene attraverso il suo utilizzo monitorato.

## LA DIGITALIZZAZIONE NELL'UTILIZZO DEL HBIM.

Per studiare correttamente l'oggetto in analisi è stato eseguito un rilievo digitale integrando alla prima fase di acquisizione con strumentazione laser scanner 3D ad una successiva di rilievo fotogrammetrico, eseguita con una campagna fotografica dedicata al Tabernacolo di Michelozzo, o Ciborio [Gurrieri 2007, pp. 11-28]. Precedentemente è stata affrontata una fase di indagine storica e bibliografica, che è fondamentale per migliorare la qualità del risultato finale e per la raccolta di informazioni dalle fonti documentali. Una volta eseguita la fase conoscitiva si passa all'acquisizione geometrica.

Nel rilievo è stato impiegato un laser scanner 3D Leica RTC360. Attraverso le procedure di allineamento, la messa a registro sul software Leica Cyclone Core è stata unita in unico database [Rinaudo, 2017, pp. 25-37] tutte le 199 scansioni eseguite. La nuvola di punti ottenuta configura la copia digitale della Basilica di San Miniato al Monte (Fig. 3).

La digitalizzazione della cappella del Crocifisso o Ciborio, il Tabernacolo di Michelozzo è stata integrata con la tecnica fotogrammetrica (Fig. 4), attraverso la creazione di un dataset fotografico, elaborato attraverso software *Structure from Motion* (SfM) [Koenderink, Van Doorn 1991].



Fig.1 - Immagini del Tabernacolo di Michelozzo, Ciborio.



Fig. 2 - Schema di interoperabilità tra operatori e informazioni nell'ambiente digitale HBIM.

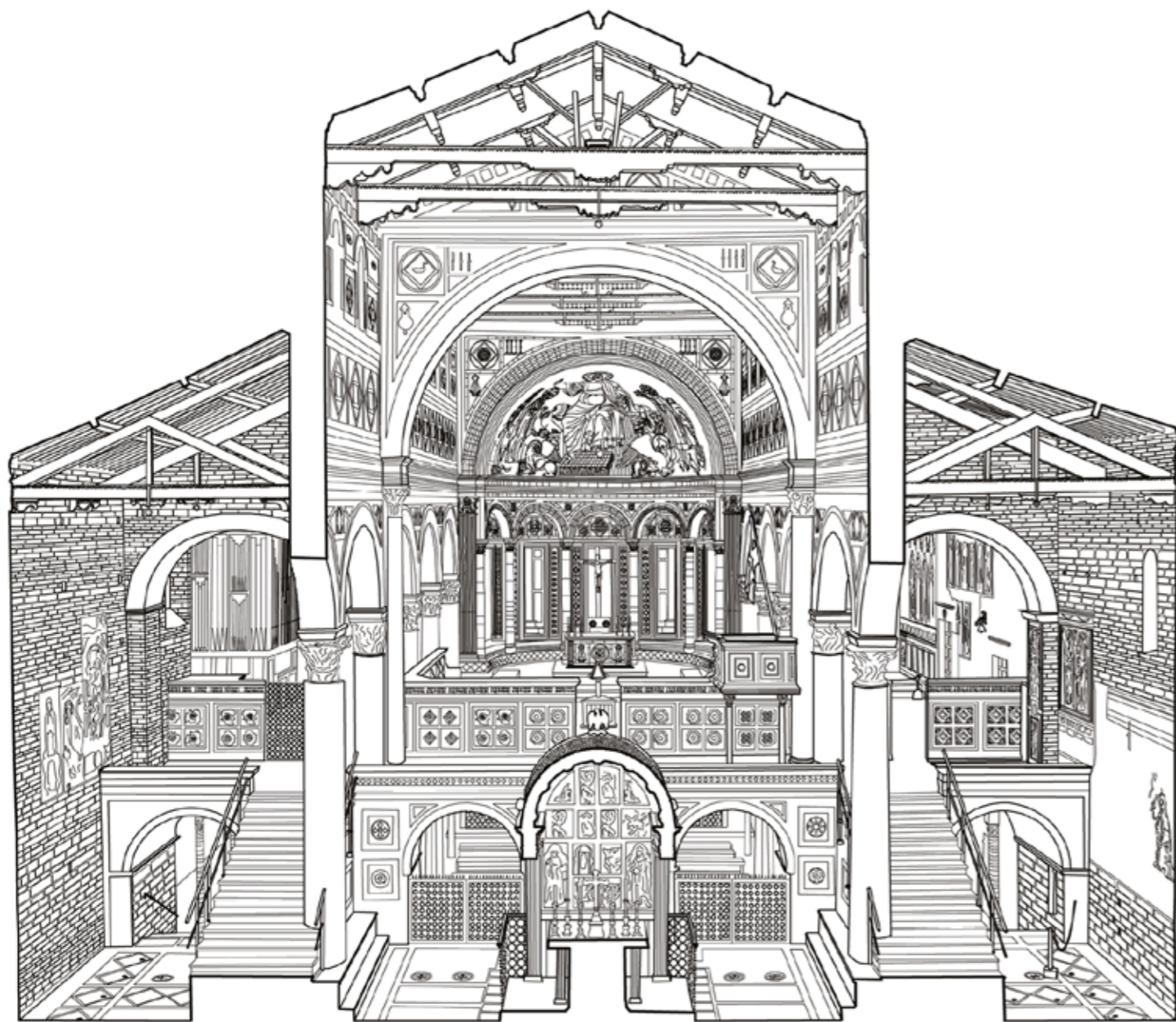


Fig. 3 - Sezione trasversale prospettica della basilica di San Miniato al Monte.

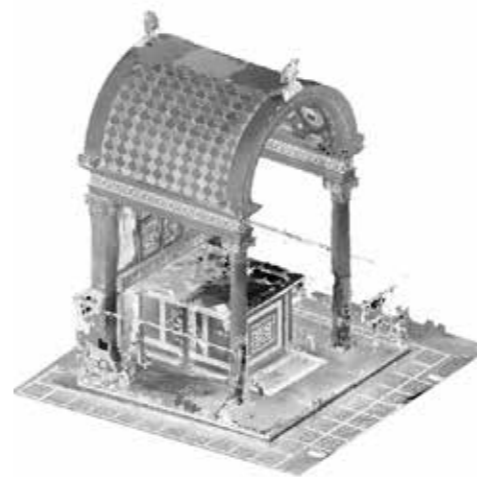


Fig. 4 - Configurazioni dei modelli 3D digitali ottenuti con le diverse metodologie di acquisizione.

Sul dato elaborato è stata ricavata la superficie mesh e successivamente l'immagine texture. L'acquisizione fotografica è stata eseguita con due diverse fotocamere, entrambe full frame, sensore 24x36mm: una mirrorless Sony A 7R con 24MP e una reflex Sony DSRL A900 con 36 MP. Per ricostruire meglio le superfici del manufatto è stato creato un primo dataset di immagini scattate secondo telai seguendo tre livelli di indagine: un primo generale intorno all'oggetto a distanza ravvicinata, con scatti ad altezze diverse, un secondo realizzato da sotto la copertura per riprendere nel dettaglio i particolari dell'intradosso e della struttura ed infine un ultimo telaio realizzato da distanza maggiore, che ha facilitato il processo di riconoscimento tra le immagini. Ciascuna di queste sequenze fotografiche ha richiesto l'uso di obiettivi con lunghezze focali diverse. Per la prima e la seconda sequenza è stato utilizzato un obiettivo Sony FE 50mm f/1.4 Zeiss, mentre per le riprese realizzate da distanza maggiore si è utilizzato un Sony 24-70mm f/2.8 ZA., con una distanza di acquisizione da circa 5 metri. Al termine delle operazioni di ripresa fotografica sono stati eseguiti 1374 fotogrammi, circa 200 con la Sony Alpha 900 e 1100 con la Sony A7R. Prima di procedere all'elaborazione del dato nel software di fotogrammetria, è stato effettuato un attento controllo della qualità dei fotogrammi. Questa fase di pre-processo è stata sviluppata con particolare attenzione, a causa delle difficili condizioni di illuminazione che hanno generato una difficile uniformazione della luce tra i fotogrammi. Questa caratteristica ambientale ha condotto le operazioni di acquisizione alla scelta di salvataggio del dato fotografico in formato .RAW, uniformando le immagini con in controllo del bilanciamento del bianco, delle luci/ombre e dell'esposizione in modo da avere il colore più uniforme possibile, di modo da migliorare il risultato finale e facilitare il processo di sovrapposizione delle immagini. La post-produzione ha portato all'esportazione di un dataset di 200 GB in formato .TIF che, in seguito ad una prima elaborazione con problematiche di processo, è stato ridotto in formato .JPG. Una soluzione che ha comunque permesso di ottenere un risultato finale ottimale, ricostruendo la copia digitale del Ciborio.

## GESTIONE BIM: MODELLAZIONE E CLASSIFICAZIONE DEL TABERNACOLO DI MICHELOZZO NELLA BASILICA DI SAN MINIATO AL MONTE

L'utilizzo di software BIM per la restituzione del rilievo rappresenta una nuova possibilità di digitalizzazione dell'esistente [Parrinello, Dell'amico 2021, pp. 89-108]. L'operazione sussiste nella retro-progettazione del Bene Architettonico. Da una base di informazioni (geometriche, bibliografiche e analitiche) l'elaborazione e la restituzione grafica è eseguita direttamente in ambiente virtuale 3D.

I dati della nuvola di punti forniscono la base tridimensionale per la creazione del modello 3D parametrizzato, le geometrie digitali sono implementate con le informazioni raccolte nella prima fase di acquisizione [Arrighetti, Pancani, Gentili 2019, pp. 157-176].

La struttura di lavoro si costituisce su un file centrale, condiviso tramite un servizio dedicato all'archiviazione in cloud, i diversi operatori (studio o professionisti) coinvolti nella realizzazione del rilievo architettonico (e tutto il processo connesso) possono creare file locali su cui lavorare e, periodicamente, aggiornare i dati per rendere visibile il proprio intervento al resto del team. Nel caso presentato è stato creato il database di partenza, costituito dalle informazioni geometriche, le nuvole di punti ottenute dal laserscanner 3D e dalla fotogrammetria digitale, e dalle informazioni non geometriche. Il modello 3D digitale HBIM, definito per accostamento delle superfici con le configurazioni visibili sulle nuvole [Yang et al., 2019], è stato implementato arricchendolo di diversi contenuti quali: anno di costruzione, documenti di archivio, interventi di restauro effettuati e in progetto, con analisi dei degradi. Si definisce per cui un workflow diviso principalmente in due fasi: la modellazione e l'implementazione delle caratteristiche degli elementi. L'osservazione più significativa sul percorso di lavoro è inquadrata nella prima fase ed evidenzia le problematiche di gestione della geometria virtuale in relazione alle unicità che le componenti del Bene storicizzato presentano, prodotte dalla natura artigianale propria dei caratteri costruttivi del passato. La restituzione della nuvola è stata eseguita con Autodesk Revit, software BIM che presenta una libreria interna fornita di elementi base per creare il progetto (con elementi aggiuntivi reperibili online), ma, trattando-

si della digitalizzazione di un edificio esistente, si è dovuti ricorrere alla creazione di nuovi componenti per soddisfare le esigenze specifiche di progetto. Le componenti create sono state ordinate su una suddivisione per parti dell'intero sistema abbaziale, documentando ciascuna parte e definendo i Livelli di Dettaglio (LOD)[Rossi, Palmeri 2019, pp. 213-224] raggiunti da ogni componente (Fig. 5).

La cappella del Crocifisso è stata la prima componente di sviluppo dell'incremento di definizione sull'accuratezza geometrica, e la conseguente seconda fase di incremento delle informazioni parametrizzate. La nuvola di punti proveniente dal rilievo fotogrammetrico ha fornito informazioni aggiuntive al dato proveniente dall'acquisizione laserscanner 3D per condurre una definizione più dettagliata delle componenti del Ciborio. Dopo l'importazione della nuvola nel software, attraverso la creazione di alcuni piani di sezione che facilitano la comprensione delle geometrie, è iniziata la modellazione. Le importanti prestazioni grafiche richieste all'hardware hanno richiesto strategie di visualizzazione del software

organizzata per parti al fine del funzionamento. Attivando la visualizzazione dell'intero modello solo in fase di controllo. Lavorando quindi separatamente ogni singolo elemento virtuale [Arrighetti, Fratini, Minutoli, Pancani 2022, pp. 2181-2210], con il massimo di visualizzazione degli elementi suoi limitrofi. Le porzioni catalogate [Bianchini, Podestà 2021, pp. 1-15] sono state modellate come *componente globale* nel linguaggio del software, all'interno delle quali è possibile la modifica dinamica delle geometrie e la catalogazione delle informazioni non geometriche. Il programma genera la possibilità di creare per ciascun componente una raccolta di informazioni visualizzabili all'interno viste indipendenti, definite *abachi*. Trattandosi di un edificio storico non è stato possibile utilizzare il database fornito di default. È stato quindi necessario creare ogni abaco, utilizzando i filtri forniti dal software per la parametrizzazione. Ad ogni componente è stato assegnato un contrassegno, con una parola chiave, che attraverso il filtraggio del programma ne permette la suddivisione all'interno degli abachi creati. Al termi-

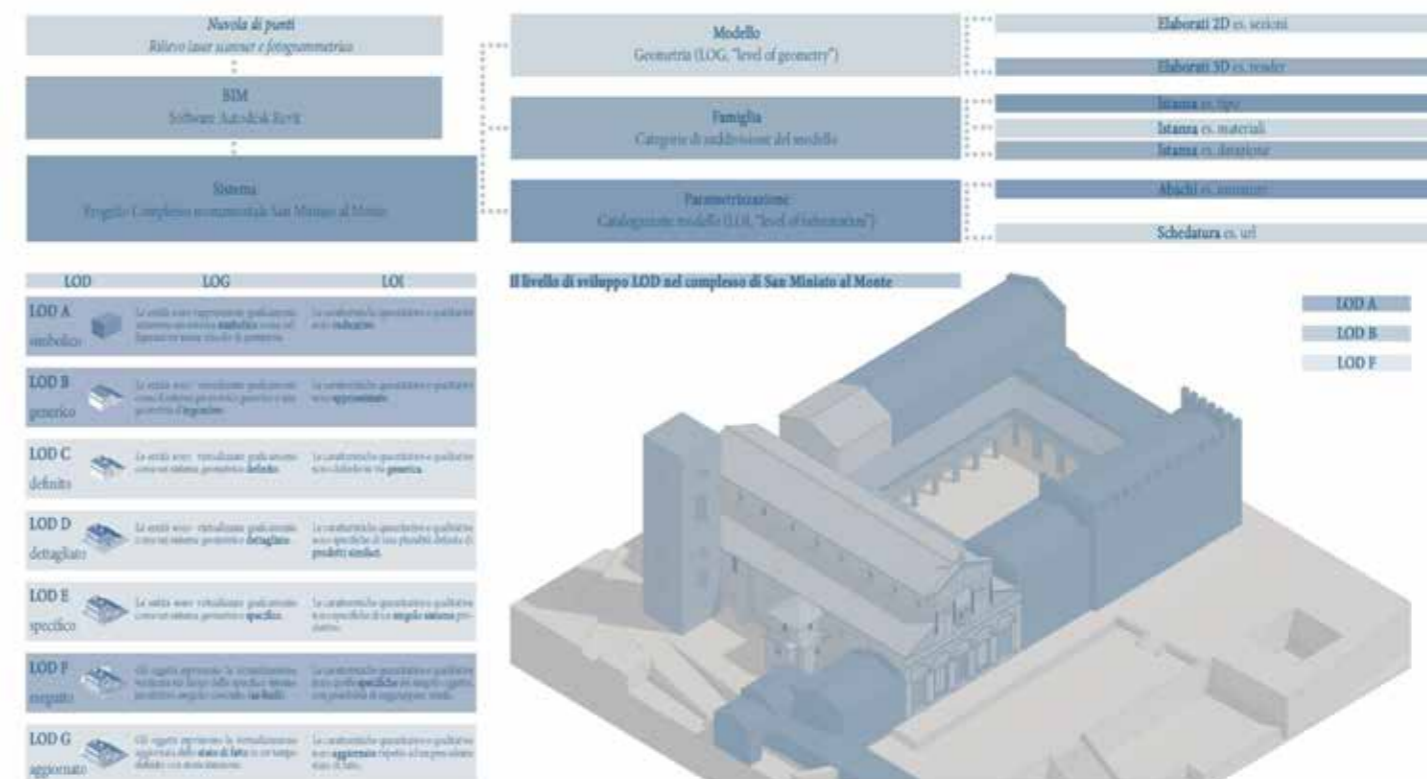


Fig. 5 - Struttura dei LOD del sistema abbaziale di San Miniato al Monte.

ne di questa fase il risultato è il completo modello geometrico BIM (Fig. 6), contenente al suo interno tutte le stratigrafie dei vari componenti dell'opera che saranno successivamente implementate con il dataset globale di informazioni per completare il database HBIM del manufatto.

Il modello geometrico, definibile parziale ed ottenuto tra le due fasi del workflow, è utilizzabile per la restituzione con metodologie di rappresentazioni tradizionali, eseguendo la messa in tavola delle viste prodotte da piani di taglio (piante e sezioni) e da punti di visualizzazione esterni (prospetti e prospettive) è possibile produrre gli elaborati canonici scattati di descrizione del sistema architettonico.

Il completamento del modello è sviluppato nel secondo step del workflow, con l'arricchimento delle componenti del modello con le informazioni bibliografiche e relative ad analisi specifiche, oltre ai dati di dettaglio sul materiale ed il colore delle superfici [Bolognesi, et al. 2023, pp. 253-259].

Si crea un database dettagliato che potrà essere aggiornato costantemente. Sfruttando la suddivisione del modello sono stati creati abachi per le informazioni non geometriche. All'interno di queste schedature sono state inserite informazioni relative alla datazione storica, al materiale e all'autore dell'opera; le texture associate, utili nella fase di rendering di immagini dal modello 3D digitale; e approfondimenti sulle caratteristiche, alcuni componenti presentano schede descrittive di dettaglio (Fig. 7).

Fra le informazioni quella ritenuta più strategica nello sviluppo delle potenzialità del HBIM è il collegamento URL che indirizza verso link esterni (Fig. 8), come sketchfab.com o Google Drive, all'interno dei quali è possibile consultare contenuti digitali immersivi o schede di approfondimento sui componenti.

Il modello HBIM finale del Tabernacolo di Michelozzo presenta un alto Livello di Accuratezza (LOA F) ed è stato la prima componente del sistema abbaziale a essere completata, fornendo la verifica della linea di sviluppo BIM successivamente applicata alla Basilica di San Miniato al Monte.

## CONCLUSIONI

La metodologia utilizzata in questo progetto ha permesso di ottenere un risultato volto alla conservazione e alla divulgazione del patrimonio culturale. Le prime fasi del rilievo hanno consentito l'acquisizione di dati ad alto contenuto informativo utili alla documentazione dello stato di fatto permettendo la creazione di un modello BIM. Le informazioni acquisite sono state utilizzate per la catalogazione delle opere artistiche, oltre che per la creazione di specifici elementi necessari nel modello attraverso un processo di digitalizzazione. Sulla base della nuvola di punti e sulle ortofoto si è modellato il progetto HBIM del Tabernacolo di Michelozzo, costituito dai vari elementi compositivi riservando particolare attenzione alla creazione della volta che caratterizza l'opera. Sulla base del modello si sono ricavati diversi output: le tavole tecniche a supporto dello sviluppo degli elaborati convenzionali e la creazione di un database in grado di descrivere la cappella in ogni suo particolare. L'integrazione fra più metodologie di rilievo, ha permesso durante il caso di studio, il confronto in molteplici occasioni fra i risultati dei vari tipi di procedimenti. Questo ha permesso quindi di controllare in tempo reale, eventuali discontinuità fra i dati acquisiti. La digitalizzazione del patrimonio edilizio ed artistico, negli ultimi anni, ha assunto sempre un ruolo di maggiore importanza. Il percorso di ricerca futura punta alla creazione di un database globale andando a dettagliare nel suo completo l'intero sistema abbaziale di San Miniato al Monte; un database implementabile con indagini e studi futuri. Il percorso che porterà a questo completamento sarà un possibile spunto per la collaborazione di diverse figure professionali ed accademiche, utilizzabile in strategie di valorizzazione ed utilizzo del soggetto e soprattutto strategicamente rilevante nella divulgazione digitale dei contenuti integrati al modello 3D geometrico.



Fig. 6 - Modello BIM del Tabernacolo di Michelozzo.

«Rilievo della muratura»									
ID	Descrizione	Materiali	Autore	Datazione	Dimensioni	Stato	Descrizione	Descrizione storica	URL
[S1-B-UA-AR-012]	Ciborio	Marmo vedere Serpentino di Prato Marmo bianco Apazano Mosaicca	Michelozzo di Bartolomeo Luca della Robbia	1448	larghezza 3,97m x altezza 5,12m x profondità 3,02m	Ottimo - restaurato nel 2018	Cappella composta da volta a botte, inquadrata da due archi marmorei, poggianti su una trabeazione intarsiata. Due colonne con capitelli compositi sostengono anteriormente la volta, posteriormente è retta da due pilastri scanalati.	Lo stemma dell'arte dei Calimala, corporazione fiorentina, raffigurante un'aquila dorata che tiene con gli artigli un torzello, domina la cuspide della facciata, così come quella del Ciborio. La cappella occupa il medesimo luogo in cui era stato innalzato l'altare nella precedente Basilica.	[S1-B-UA-AR-012]

### La schedatura consultabile tramite URL del componente [S1-B-UA-AR-012]

**ID elemento:** [S1-B-UA-AR-012]  
**Elemento:** Ciborio  
**Datazione:** 1448  
**Materiali:** Marmo vedere Serpentino di Prato  
Marmo bianco Apazano  
Mosaicca  
**Autore:** Michelozzo di Bartolomeo  
Luca della Robbia  
**Dimensioni elemento:** larghezza 3,97m x altezza 5,12m x profondità 3,02m  
**Stato conservazione:** Ottimo - restaurato nel 2018  
**Descrizione tecnica:** Cappella composta da volta a botte, inquadrata da due archi marmorei, poggianti su una trabeazione intarsiata. Due colonne con capitelli compositi sostengono anteriormente la volta, posteriormente è retta da due pilastri scanalati.  
**Descrizione storica:** Lo stemma dell'arte dei Calimala, corporazione fiorentina, raffigurante un'aquila dorata che tiene con gli artigli un torzello, domina la cuspide della facciata, così come quella del Ciborio. La cappella occupa il medesimo luogo in cui era stato innalzato l'altare nella precedente Basilica.



Fig. 7 - Esempio di schedatura di dettaglio.

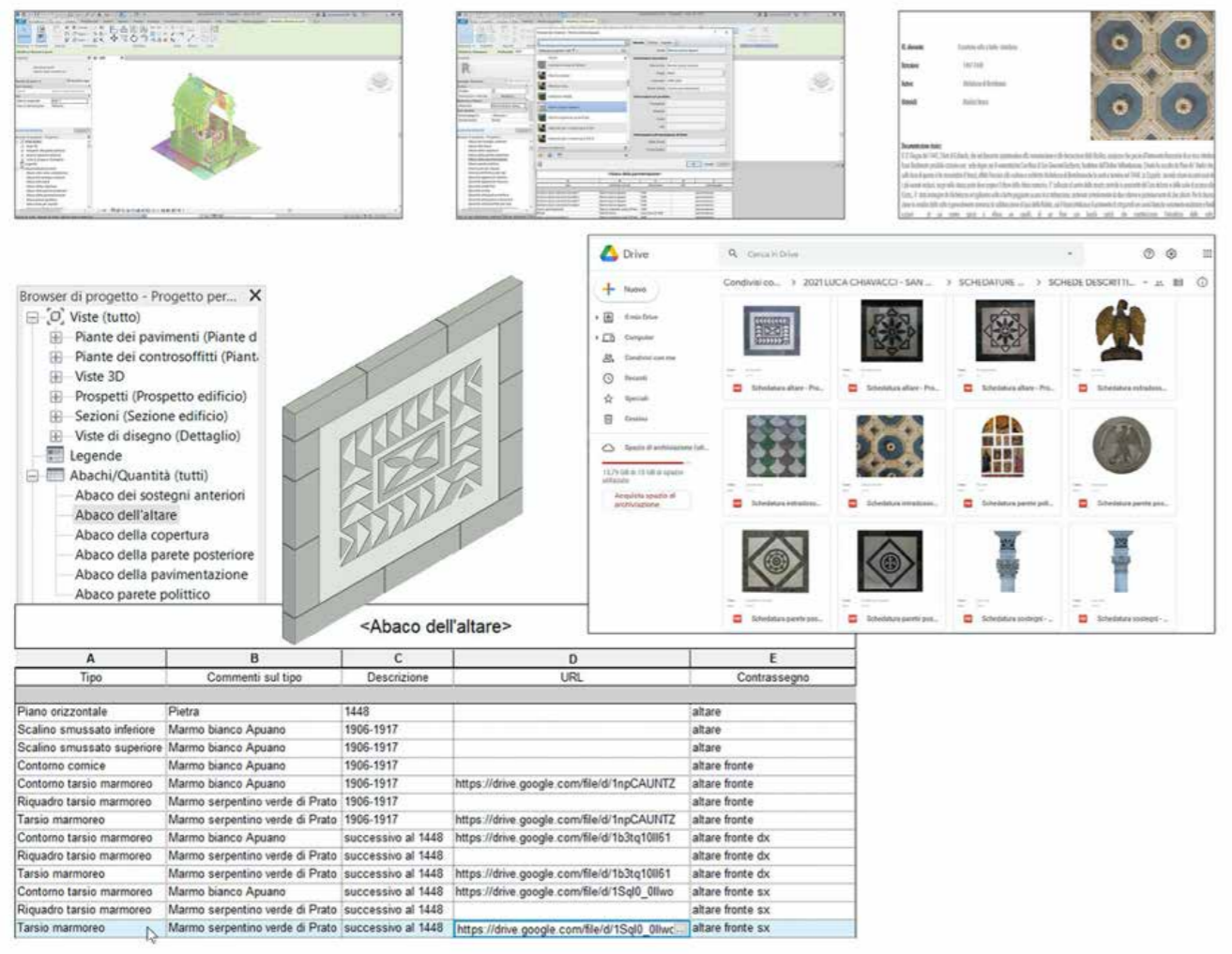


Fig. 8 - Configurazione della scheda componenti e collegamenti URL strutturati nel modello HBIM

## BIBLIOGRAFIA

Apollonio F. I., Gaiani M., Sun Z. (2012), BIMbased Modeling and Data Enrichment of Classical Architectural Buildings, in *SCIRES-IT*, 2(2), pp. 41-62

Arrighetti A., Pancani G., Gentili M. (2019), The church of Santa Maria a Buiano in Casentino. Survey, archaeology and h-bim analysis of the building. La pieve di Santa Maria a Buiano in Casentino. Rilievo, lettura archeologica e h-bim delle architetture. In *Archeologia dell'Architettura*, 2019, 24, pp. 157-176

Arrighetti A., Fratini F., Minutoli G., Pancani, G. (2022), *Historical Seismic Events and Their Traces on Medieval Religious Buildings*, Handbook of Cultural Heritage Analysis, 2022, 2, pp. 2181-2210

Balzani M., Maietti F., Mugayar Kühl B. (2017), Point cloud analysis for conservation and enhancement of modernist architecture. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W3, 2017 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 1-3 March 2017, Nafplio, Greece

Bertocci S., Arrighetti A., Bigongiari M. (2019), Digital survey for the archaeological analysis and the enhancement of Gropina archaeological site, in *Heritage*, 2(1), pp. 848-856

Bianchini C. Podestà G., (2021), BIM for built cultural heritage: semantic segmentation, architectural stratification and LOD of the Baptistry Of San Giovanni in Florence, in *From Building Information Modelling to Mixed Reality*, Bolognesi C. M., Villa D. (Eds.), Springer, Cham, pp. 1-15

Biagini C., Donato V. (2014), Building Object Models (BOMs) for the documentation of historical building heritage, in *Proceedings of EGraFIA 2014 - Revisiones del futuro, Previsiones del pasado*, Lomonaco H. C., Barba S. (Eds.), Rosario, pp. 442-449

Bigongiari M., Dellabartola, G. (2023), From architecture to model: methodologies and case studies for the digital reconstruction of the S. Croce complex, Florence. In *3D Modeling & BIM - Soluzioni per il Cultural Heritage*, Empler, T., Caldarone, A., Fusinetti, A. (Eds.), DEI s.r.l. Tipografia del genio civile, Roma, pp.102-113

Bolognesi C. M., et al. (2023), Heritage decay visible in HBIM models, in *ISPRS*, XLVIII-1/W2-2023, pp. 253-259

Gurrieri F., Berti L., Leonardi C. (1988), *La Basilica di San Miniato al Monte a Firenze*. Firenze: Giunti editore

Gurrieri F. (2007), San Miniato al Monte, la Basilica dell'URBS PERFECTA", in Gurrieri, F. (a cura di), *Dieci secoli per la Basilica di San Miniato al Monte*. Firenze: Edizioni Polistampa, pp. 11-28

Inzerillo L., Lo Turco M., Parrinello S., Santagati C., Valenti G. M. (2016), BIM and architectural heritage: towards an operational methodology for the knowledge and the management of cultural heritage, in *Disegnarecon*, 9(16), pp. 16.1-16.9

Koenderink J. J., Van Doorn A. J. (1991), *Affine structure from motion*. J. Optical Society of America

Pancani G. (2020), *Progetto per il rilievo della Basilica di San Miniato al Monte a Firenze*, Reserchgate

Parrinello S., Dell'amico A. (2021), From Survey to Parametric Models: HBIM Systems for Enrichment of Cultural Heritage Management, in *From Building Information Modelling to Mixed Reality*, Bolognesi C. M., Villa D. (Eds.), Springer, Cham, pp. 89-108

Rinaudo F. (2017), Analisi della qualità del rilievo laser scanner architettonico e criteri di verifica, in *La città dei Guidi: Poppi. Il costruito del centro storico, rilievi e indagini diagnostiche*, Pancani G. Firenze: Edifir Editore, pp. 25-37

Rossi A., Palmeri U. (2019), LOD per il patrimonio architettonico: la modellazione BIM per la fabbrica Solimene, in *Disegno*, 1(4), pp. 213-224

Yang X., Lu Y. C., Murtiyoso A., Koehl M., et al. (2019), HBIM modeling from the surface mesh and Its extended capability of knowledge representation, in *ISPRS*, 8(7)

# LEVEL OF SUSTAINABILITY: PROCEDURE HBIM A CONFRONTO PER LA SOSTENIBILITÀ

## LEVEL OF SUSTAINABILITY: HBIM PROCEDURES COMPARED FOR SUSTAINABILITY

AUTHOR

**Adriana Caldarone**

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

EMAIL

[adriana.caldarone@uniroma1.it](mailto:adriana.caldarone@uniroma1.it)

## KEYWORDS

COSTRUITO STORICO  
HBIM  
SOSTENIBILITÀ  
CONOSCENZA

## ABSTRACT

La tensione tra le istanze estetico-testimoniali e le necessità energetiche degli edifici tutelati costituisce un nodo cruciale irrisolto. In questo contesto i processi HBIM dimostrano un'elevata capacità di sistematizzare le informazioni, consentono simulazioni nonché analisi delle relazioni tra l'esistente e le proposte progettuali.

Introducendo il concetto sostenibilità, la ricerca qui presentata affronta questa tematica in relazione a diversi casi studio suddivisi in macrocategorie, ponendo l'attenzione sulle differenze nell'impostazione di modelli HBIM, con l'obiettivo di indagare l'impatto della modellazione geometrica e informativa sull'accuratezza dei calcoli ai fini della sostenibilità.

*The interplay between the preservation of a building's historical and aesthetic value and the pressing need for energy efficiency poses a significant challenge. HBIM offers a promising solution, providing a framework for systematizing building data and enabling detailed simulations.*

*By introducing the concept of sustainability as a balance between environmental and social factors, this research explores the potential of HBIM in enhancing heritage value. Through a comparative analysis of various case studies, the study investigates the impact of geometric and informational modeling on the accuracy of sustainability assessments.*



## INTRODUZIONE: ISTANZA CULTURALE VS ISTANZA ENERGETICA

La generazione di modelli informativi nell'ambito delle costruzioni esistenti si sta affermando sempre più come un prerequisito fondamentale per la gestione efficace del patrimonio costruito. Questi modelli sono in grado di soddisfare una vasta gamma di esigenze connesse al ciclo di vita dei beni. Tuttavia, nonostante l'evidente potenziale, i processi di adattamento dei modelli HBIM presentano diverse complessità: particolarmente in Italia, la ricerca è ancora focalizzata sull'individuazione di flussi di lavoro ottimali e sulla definizione di metodologie rigorose per la verifica dell'attendibilità delle informazioni durante i processi di produzione dei modelli.

D'altro canto, il complesso di attività ricomprese nella conservazione e la manutenzione del patrimonio culturale richiedono oggi un approccio sempre più attento all'efficienza energetica: la COP28, ha posto al centro dell'agenda politica la necessità di ridurre drasticamente le emissioni di gas serra del 60% entro il 2035. A livello nazionale, l'Italia ha recepito queste istanze attraverso il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza che promuove politiche volte alla transizione energetica e alla decarbonizzazione del settore edilizio, con particolari attenzioni al patrimonio culturale e storico.

La riqualificazione energetica del patrimonio storico italiano pone sfide complesse legate alla conciliazione delle esigenze di conservazione dei valori storico-artistici con i requisiti di efficienza energetica. Le normative vigenti, pur fondamentali per la tutela del patrimonio culturale, possono talvolta condurre a interventi che compromettono l'integrità e l'autenticità dei beni, generando un conflitto tra i valori della conservazione e quelli dell'innovazione o, nello specifico, tra ciò che può essere definita l'"istanza culturale" e l'"istanza energetica".

È pertanto necessario trascendere il concetto di efficienza energetica e abbracciare una prospettiva più ampia incentrata sulla sostenibilità. Quest'ultima, intesa come equilibrio tra le dimensioni ambientale, sociale ed economica, si configura come un paradigma concettuale in grado di valorizzare il patrimonio edilizio storico.

In questa direzione si sta muovendo il *World Green Building Council*, un'organizzazione internazionale che promuove la collaborazione tra governi, istituzioni e imprese guidando gli sforzi globali verso

l'attuazione degli Accordi di Parigi e degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite. A livello italiano, il *Green Building Council Italia* (di seguito GBC Italia) ha sviluppato un protocollo specifico per valutare la sostenibilità degli edifici storici e degli interventi di restauro, introducendo un sistema di rating basato su criteri oggettivi e sulla conoscenza profonda dei beni culturali.

In questo contesto, si rende necessaria una riflessione critica sull'impiego delle metodologie BIM nel settore del costruito storico. Nonostante la complessità intrinseca, i processi HBIM dimostrano un'elevata capacità di sistematizzare e integrare una vasta gamma di informazioni, sia qualitative che quantitative, derivanti dalle indagini conoscitive. Inoltre, il BIM facilita la visualizzazione e l'analisi delle relazioni tra l'esistente e le proposte progettuali, consentendo di affrontare in modo efficace le sfide tipiche degli interventi di restauro, in termini sia di ottimizzazione delle risorse che di gestione delle interferenze [Bianchini et al., 2016], intesa, quest'ultima, come coerenza tra le soluzioni adottate ed il preservamento del capitale sociale e naturale del manufatto a beneficio delle future generazioni.

## STATO DELL'ARTE

La diffusione di un approccio orientato alla sostenibilità innesca un profondo cambiamento di paradigma nel campo del restauro, richiedendo una rivisitazione critica dei processi progettuali, decisionali e delle metodologie tradizionali.

L'integrazione dei protocolli di certificazione sostenibile (ad esempio protocollo LEED o BEAM) nei processi BIM rappresenta una risposta concreta a questa evoluzione. Tali protocolli influenzano le scelte progettuali [Attenni et al., 2022]: il BIM, attraverso la simulazione virtuale, consente di prevedere l'impatto delle decisioni progettuali sulla sostenibilità dell'edificio, facilitando il raggiungimento degli obiettivi di certificazione e ottimizzando le performance energetiche ed ambientali.

A titolo esemplificativo, ma non esaustivo, il sistema di certificazione LEED comprende una pluralità di protocolli<sup>1</sup>, estensibili anche agli edifici esi-

<sup>1</sup> LEED Reference Guide for Building Design and Construction; LEED for New Construction, for Existing Buildings, for Commercial Interiors, for Core and Shell, for Homes, for Neighborhood Development, for Schools, for Retail (USGBC, 2018).

<sup>2</sup> Attestato di Prestazione Energetica.

stenti, che definiscono linee guida per l'ottenimento di certificazioni ambientali.

A livello professionale, attualmente, la maggior parte delle metodologie BIM impiegate per la valutazione della sostenibilità dei manufatti esistenti si focalizza sulla determinazione della classe energetica sulla base di un modello tridimensionale che descrive in modo parametrico tutti i componenti costruttivi e a cui associa metadati esterni.

L'obiettivo ultimo di queste analisi è la generazione di un APE<sup>2</sup> e l'individuazione di interventi migliorativi mirati a ridurre il consumo energetico dell'edificio, agendo su materiali, componenti e sistemi energetici [Caldarone, 2022]. Tale tendenza, comunemente adottata nel costruito ex novo e nel patrimonio edilizio di minore pregio, risulta disconnessa dalle pratiche di valorizzazione della qualità del costruito storico. Essa, inoltre, trascura la ricerca di un equilibrio tra le esigenze di conservazione e il miglioramento della performance ambientale, relegando il tutto al successivo o contemporaneo intervento di restauro.

La letteratura scientifica, invece, presenta un corpus sempre più ampio di studi che attestano l'efficacia dell'adozione di metodologie BIM nei processi di certificazione LEED [Raimondi and Aguerre, 2018] in virtù delle peculiari caratteristiche di simulazione e predittività dei processi BIM nel ciclo di vita di un edificio.

Tuttavia, l'applicazione di tale approccio integrato al patrimonio esistente, in particolare a quello definito di alto valore culturale, risulta ad oggi ancora limitata [Gigliarelli et al., 2017] e rimangono ancora marginali quelli che applicano processi BIM al costruito storico considerando congiuntamente le dimensioni energetiche e quelle culturali per la valutazione della sostenibilità [Ferrari et al., 2016].

Se quindi nella pratica professionale l'approccio alla tematica è spesso limitato agli aspetti operativi, dal punto di vista della ricerca, invece, è necessario ridefinire un approccio che consideri contemporaneamente il costruito, il progetto e il modello, da un punto di vista prima concettuale e poi operativo, con l'obiettivo di passare da una concezione limitata a un approccio olistico che integri le diverse dimensioni della sostenibilità all'interno dei modelli BIM.

## METODOLOGIA ADOTTATA

L'evoluzione nell'approccio alla valutazione della sostenibilità dei manufatti storici tramite processi BIM, che integra performance energetiche e di comfort, uso consapevole delle risorse e sensibilità verso i valori culturali, induce ad una rivisitazione del concetto stesso di costruito, alla sua lettura ed alla sua rappresentazione. Ogni manufatto esistente, infatti, si inserisce in un contesto complesso di relazioni spaziali, e storico-culturali. Tali aspetti sono poi connessi a quelli tecnici e tecnologici.

Emerge quindi la necessità di effettuare letture strutturate e critiche del costruito storico che prendano in considerazione parallelamente gli aspetti quantitativi e formali, quelli qualitativi e quelli culturali.

A tal proposito in questa ricerca, il tema viene affrontato con un duplice obiettivo: delineare un protocollo operativo basato sul **GBC Historic Building** e condurre una riflessione riguardo quale sia la corretta impostazione del modello HBIM affinché possa considerarsi un vero e proprio metodo per la conoscenza, la lettura e l'analisi del patrimonio architettonico ai fini del calcolo della loro sostenibilità.

Il protocollo del GBC assegna a ogni "categoria ambientale" (Fig.1) un determinato numero di crediti secondo dei parametri oggettivi, incentrati sugli effetti che ogni categoria ha sull'ambiente e sulla salute umana rispetto a un insieme di categorie di impatto, inclusi il pregio dell'edificio inteso come valore per la comunità, il degrado superficiale degli elementi costituenti la struttura, la modellazione energetica ed il ciclo di vita.

La sperimentazione affronta questi problemi in relazione a diversi casi studio suddivisi in macrocategorie, ponendo l'attenzione sulle differenze nell'applicazione e nell'impostazione del modello a seconda della classificazione di appartenenza.

L'obiettivo principale qui analizzato è quello di indagare l'impatto della modellazione geometrica e informativa sull'accuratezza dei calcoli di sostenibilità, applicati e differenziati per ogni singola macrocategoria.

A ciascuna macrocategoria sono associati dati specifici volti a descrivere le peculiarità materiali, storiche e tecnologiche degli edifici, comprendenti anche, a titolo esemplificativo, il calcolo della trasmittanza termica e dei consumi energetici complessivi, il degrado delle superfici e degli elementi tecnici.

Si distinguono, pertanto le seguenti macrocategoria in linea con questi criteri:

- Categoria A: Elementi di elevato valore storico e documentale, adibiti a funzioni specifiche internamente e caratterizzati da un consumo energetico. Presentano una complessità costruttiva stratificata nel tempo, priva di standardizzazione (edifici medievali, rinascimentali, preunitari e otto-novecenteschi con stratificazioni e preesistenze);

- Categoria B: Elementi con basso valore storico-documentale, adibiti a funzioni specifiche e caratterizzati da un consumo energetico. Si distinguono per un approccio progettuale seriale e per l'impiego di elementi costruttivi standardizzati di valore testimoniale;

- Categoria C: Elementi di eccezionale interesse artistico, privi di funzioni specifiche ma soggetti a consumo energetico. Si caratterizzano per l'unicità formale e per l'impossibilità di standardizzazione a causa della natura artigianale del manufatto.

Per tutti i casi studio appartenenti alle macrocategorie sono state effettuate indagini conoscitive preliminari ed indagini conoscitive avanzate, così come definite dal protocollo GBC Italia sugli edifici esistenti, comprensive di un rilievo integrato di acquisizione massiva (rilevamento con Laser Scanner Terrestre e fotogrammetria da drone) e acquisizione di immagini termografiche.

Il primo caso studio, riconducibile alla categoria A, riguarda un edificio storico ubicato nel centro di Roma (Fig. 2) una delle sedi della Facoltà di Architettura di Sapienza Università di Roma.

La struttura presenta una complessa stratificazione di tecniche costruttive e un ricco apparato decorativo costituito da stucchi, cornici e pavimenti di pregio. Questi elementi, pur rivestendo principalmente una funzione estetica, sono strutturalmente integrati con la muratura storica e influenzano significativamente il comportamento termo-fisico dell'edificio.

Per una corretta valutazione energetica e di sostenibilità, si rende indispensabile una rappresentazione accurata e dettagliata del modello informativo dell'edificio (BIM). In particolare, è cruciale che: la modellazione rappresenti con accuratezza la complessa geometria dell'edificio, inclusi gli elementi decorativi solidali con le tamponature e le stratificazioni mura-

rie; la modellazione informativa deve associare a ciascun elemento del modello informazioni dettagliate sulle sue caratteristiche materiali, storiche e costruttive, nonché sulle condizioni di degrado superficiale e sulla curva di decadimento connessa alla prestazione degli elementi tecnici; la semantica deve definire una struttura coerente e condivisa per classificare e descrivere gli elementi costitutivi dell'edificio.

L'analisi di casi studio specifici, come quello presentato, evidenzia l'importanza di una modellazione accurata della morfologia degli elementi. Ad esempio, l'apparato decorativo, essendo solidale con la struttura, influisce in modo significativo sulla trasmittanza termica delle pareti, così come la stratificazione muraria e lo stato di conservazione degli elementi (Fig. 3).

Per affrontare la complessità di tali modelli, si ricorre all'utilizzo di linguaggi di programmazione visuale che descrivono con maggior accuratezza l'apparato murario, facilitando l'analisi energetica e la valutazione della sostenibilità dell'edificio stesso.

Il secondo caso studio, riconducibile alla categoria B, riguarda un manufatto di interesse storico risalente ai primi del Novecento (Fig. 4). Tale edificio presenta una caratteristica peculiare: la coesistenza di elementi costruttivi unici e di altri che aderiscono a logiche produttive seriali, tipiche dell'industrializzazione nascente del periodo.

L'approccio costruttivo, influenzato dalle sperimentazioni dell'epoca, mostra una commistione tra elementi ottocenteschi e componenti standardizzate.

Questa eterogeneità costruttiva offre l'opportunità di esplorare modalità alternative per il calcolo della sostenibilità: la presenza di elementi costruttivi ripetitivi, quali infissi, solai e pavimenti, consente di definire abachi parametrici che facilitano la modellazione geometrica e informativa dell'edificio (Fig. 5). Inoltre, la standardizzazione di alcuni componenti permette di stimare in modo più accurato i consumi energetici, attraverso l'applicazione di fattori correttivi che tengano conto della geometria semplificata dei modelli.

Anche in questo caso, dato che lo stato di conservazione degli elementi costruttivi influisce in modo significativo sulle prestazioni energetiche dell'edificio, sono state integrate nel modello informazioni dettagliate sullo stato di degrado dei materiali, al fine di ottenere una valutazione energetica più accurata.

In funzione dell'età degli elementi costitutivi e del generale stato di degrado dell'edificio, è possibile definire curve di decadimento parametriche e

SI ? NO		Valenza Storica		Punteggio massimo: 20	
SI	Prereq. 1	Indagini conoscitive preliminari		Obbligatorio	
	Credito 1.1	Indagini conoscitive avanzate: indagini energetiche			1-3
		Indagine di I livello			1
		Indagini approfondite: termografia			2
		Indagini approfondite: termografia e valutazione consistenza termica in opera			3
	Credito 1.2	Indagini conoscitive avanzate: indagini diagnostiche su materiali e forme di degrado			2
	Credito 1.3	Indagini conoscitive avanzate: indagini diagnostiche sulle strutture e monitoraggio strutturale			1-3
		Indagini diagnostiche sulle strutture			1-2
		Indagini diagnostiche e monitoraggio delle strutture			2-3
	Credito 2	Reversibilità dell'intervento conservativo			1-2
	Credito 3.1	Compatibilità della destinazione d'uso e benefici inaspettati			1-2
	Credito 3.2	Compatibilità chimico-fisica delle malte per il restauro			1-2
		Valutazione di compatibilità con soddisfacimento dei requisiti fondamentali			1
		Valutazione di compatibilità con soddisfacimento dei requisiti fondamentali e di almeno due requisiti complementari			2
	Credito 3.3	Compatibilità strutturale rispetto alla struttura esistente			2
	Credito 4	Cantiere di restauro sostenibile			1
	Credito 5	Piano di manutenzione programmata			2
	Credito 6	Specialista in beni architettonici e del paesaggio			1

Fig. 1 - Schema di valutazione della 'valenza storica' basato su criteri quantitativi. Il sistema premia l'approfondimento della conoscenza. In particolare, un'analisi approfondita delle fasi costruttive e delle caratteristiche strutturali del manufatto, unitamente a un'attenta indagine storica, determina un incremento del punteggio complessivo. Immagine derivante da GBC Historic Building, Sistema di verifica GBC per il restauro e la riqualificazione degli edifici storici. Available at: <https://gbcitalia.org/wp-content/uploads/2021/08/Check-list-GBC-HB2016>.



Fig. 2 - Edificio sito a Roma in piazza Fontanella Borghese, sede della facoltà di Architettura, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro. L'edificio si configura di elevato valore storico e documentale con una complessità costruttiva stratificata nel tempo. Nato come dipendenza del vicino Palazzo Borghese, fu inizialmente sede della facoltà di Economia e Commercio di Università degli studi di Roma La Sapienza [Bardati, 2006].

specifiche per ciascuna tipologia di componente. Tali curve consentono di stimare in modo semplificato, ma accurato, la perdita di prestazione nel tempo, proprio per via delle componenti standardizzate con cui l'edificio è realizzato.

L'ultimo caso studio esamina un elemento architettonico di notevole interesse storico-artistico: la fontana monumentale (Fig. 6). Sebbene ogni fontana presenti caratteristiche uniche, la tipologia in sé è ampiamente diffusa nel patrimonio culturale sia italiano e internazionale, caratterizzandosi per un significativo consumo energetico, nonostante l'assenza di funzioni primarie, come nei manufatti delle precedenti categorie.

A Roma, la gestione e la manutenzione di queste opere sono affidate a specifiche società che si occupano degli aspetti idraulici, illuminotecnici e manutentivi. La fontana oggetto di analisi, pur non svolgendo una funzione pratica oltre alla sua valenza estetica, richiede un consumo energetico legato all'illuminazione e al funzionamento degli impianti idraulici.

Data l'unicità dell'elemento, dal punto di vista semantico si è optato per una segmentazione in base alle sue componenti costitutive. In assenza di una classificazione standard, si è proceduto a una suddivisione in tre categorie principali: Elementi strutturali - Comprendono le parti portanti della fontana, come lo zoccolo e il piedistallo; Elementi scenografici - Riguardano gli elementi scultorei e decorativi, privi di funzione strutturale.

Elementi impiantistici - Comprendono tubazioni, valvole e componenti idraulici, ma anche elementi scultorei che svolgono una funzione specifica, come ad esempio un troppo pieno a forma di pesce (Fig. 7).

L'apparato decorativo, pur contribuendo all'estetica della fontana, non incide significativamente sui consumi energetici. Pertanto, una modellazione geometrica dettagliata di tali elementi potrebbe non essere necessaria e si è quindi optato per l'inserimento di una mesh tridimensionale, sufficiente per caratterizzare visivamente il manufatto nel modello BIM a cui associare poi parametri riferiti al degrado superficiale. È, infatti, fondamentale rappresentare con precisione lo stato di degrado degli elementi, sia per valutare l'impatto sulla qualità ambientale che per pianificare e computare gli interventi di conservazione.

L'analisi del caso studio evidenzia l'importanza di una modellazione dettagliata degli elementi impiantistici (MEP) e strutturali, al fine di comprendere il funzionamento della fontana e di una rappresentazione accurata dell'apparato decorativo (Fig. 8), che,

sebbene non impatti direttamente sui calcoli energetici, risulta fondamentale per valutare lo stato di conservazione e prevedere l'evoluzione nel tempo dell'opera a causa dell'azione degli agenti atmosferici.

## CONCLUSIONI

La tensione dialettica tra i requisiti estetico-testimoniali e le recenti necessità energetico-ambientali degli edifici tutelati costituisce un nodo cruciale ancora irrisolto a livello nazionale.

Fino ad ora, la complessità di tale questione è stata affrontata prevalentemente attraverso un approccio settoriale, limitato ai singoli ambiti disciplinari. Si rende, pertanto, necessario superare una mera giustapposizione di competenze specialistiche, al fine di integrare le esigenze conservative con i principi della sostenibilità, in un'ottica di valorizzazione del patrimonio storico, cui i processi HBIM sono indispensabili.

In tale contesto, la questione della rappresentazione digitale del manufatto assume un'importanza cruciale per due ordini di motivi. Da un lato, le semplificazioni geometriche intrinseche alla modellazione BIM rischiano di compromettere l'accuratezza dei dati energetici, pregiudicando così l'affidabilità delle simulazioni. Dall'altro, una rappresentazione non adeguata potrebbe alterare le peculiarità morfologiche e materiali del manufatto, minando la sua identità storica e culturale.

Si rende pertanto necessario definire, di volta in volta, protocolli e linee guida che assicurino la rigore scientifico e la trasparenza dei processi di conoscenza prima e di modellazione informata poi.

La metodologia proposta, infatti, mira a sfruttare le potenzialità della modellazione parametrica, consentendo di adattare il livello di dettaglio geometrico e la complessità dei modelli alle specifiche esigenze di ogni caso suddiviso per macrocategorie di appartenenza. Tale approccio consente di conciliare, da un lato, la necessità di semplificazioni geometriche per l'analisi energetica e, dall'altro, la preservazione delle caratteristiche formali e materiali rilevanti ai fini della tutela.

A monte, in sostanza, è fondamentale svolgere una accurata indagine storica, geometrica, materica ed energetica del manufatto, senza la quale non sarebbe possibile pianificare al meglio i successivi interventi di recupero. Rappresentare tali dati con affidabilità tramite un processo HBIM, garantisce una valutazione complessiva, in cui il modello tridimensionale esprime qualità energetiche e valenze storico-culturali.



Fig. 3 - Modello BIM dell'edificio ed alcuni elementi scultorei (cornici e stucchi) che influiscono nel comportamento termico. Modello realizzato nell'ambito del progetto di digitalizzazione del Patrimonio immobiliare di Sapienza Università di Roma.



Fig. 4 - Palazzina Podesti sita a Roma nell'Orto Botanico. Realizzata nel 1889 ad opera di Giulio Podesti, ha subito alcune trasformazioni, tra cui l'aggiunta di una serra davanti al prospetto sud (1930) e la costruzione dell'aranciera (1930) [Borsellino, 1996; Bruno, 2013].

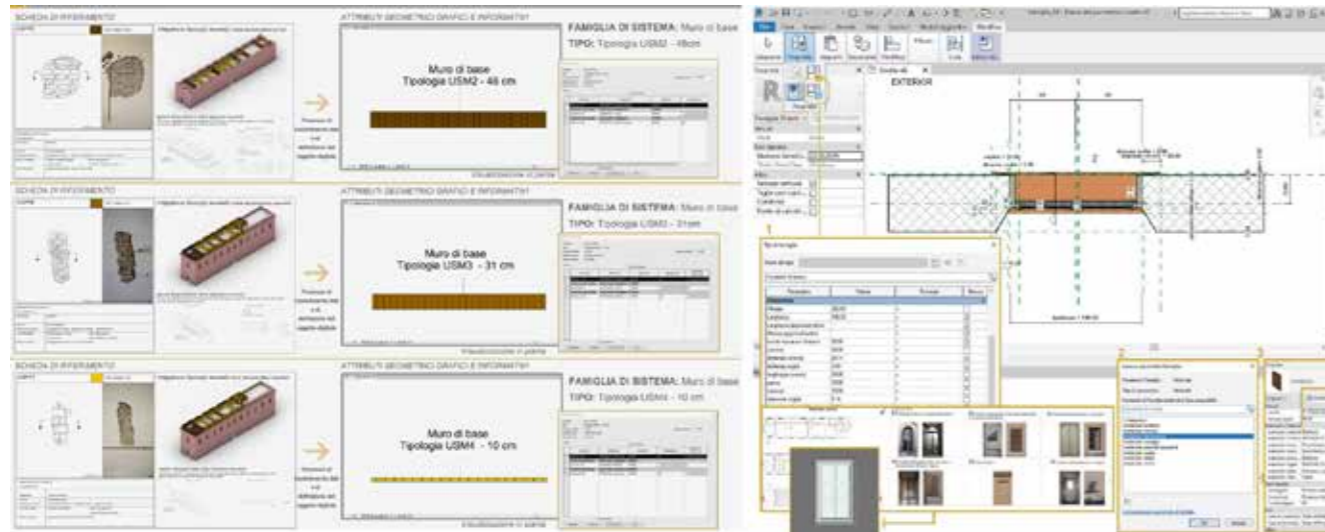


Fig. 5 - Edificio caratterizzato da sostanziale omogeneità delle tecniche costruttive (suddivise per piano) e da elementi tecnici standardizzati. Sono stati creati abachi delle murature e degli elementi costitutivi suddivisi in elementi di pregio (pavimentazioni) e componenti tecnologiche. Modello realizzato nell'ambito del Master di II livello in Heritage Building Information Modeling di Sapienza. Anno 2020-2021.

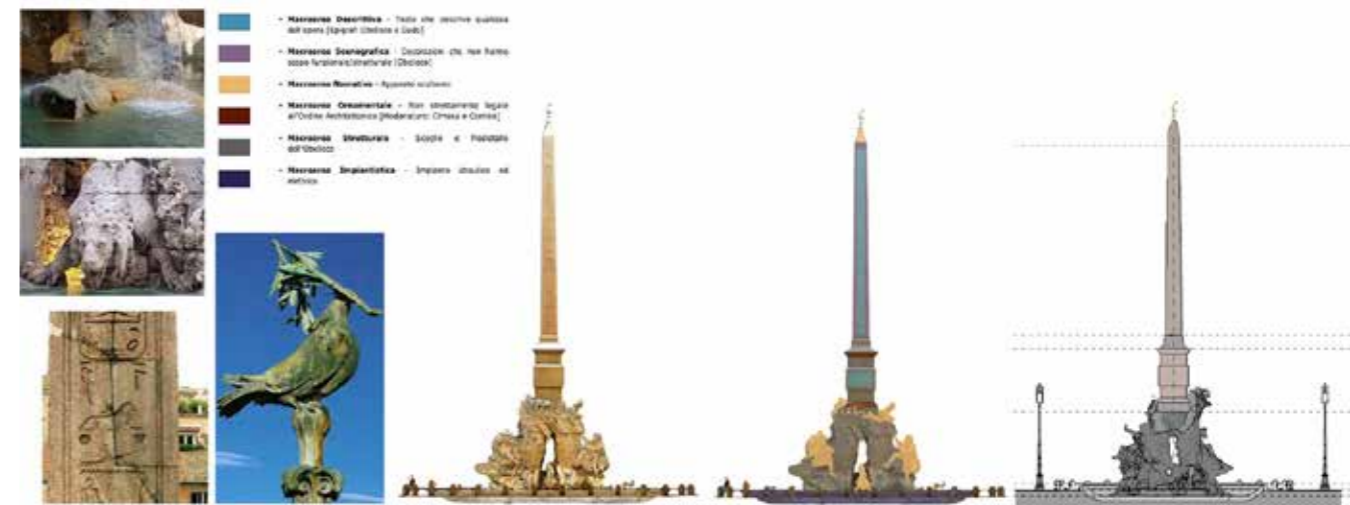


Fig. 7 - Nella sezione a destra alcuni dettagli della fontana analizzata e legenda della classificazione delle componenti. Nella sezione a sinistra è possibile vedere in ordine nuvola di punti, semantizzazione degli elementi e modello BIM. Modello realizzato nell'ambito del Master di II livello in Heritage Building Information Modeling di Sapienza. Anno 2022-2023.



Fig. 6 - Alcune immagini della fontana dei quattro fiumi sita in Piazza Navona a Roma. Famosissima fontana monumentale commissionata da papa Innocenzo X e realizzata da Bernini dal 1648 al 1651. [D'Onofrio, 1957].

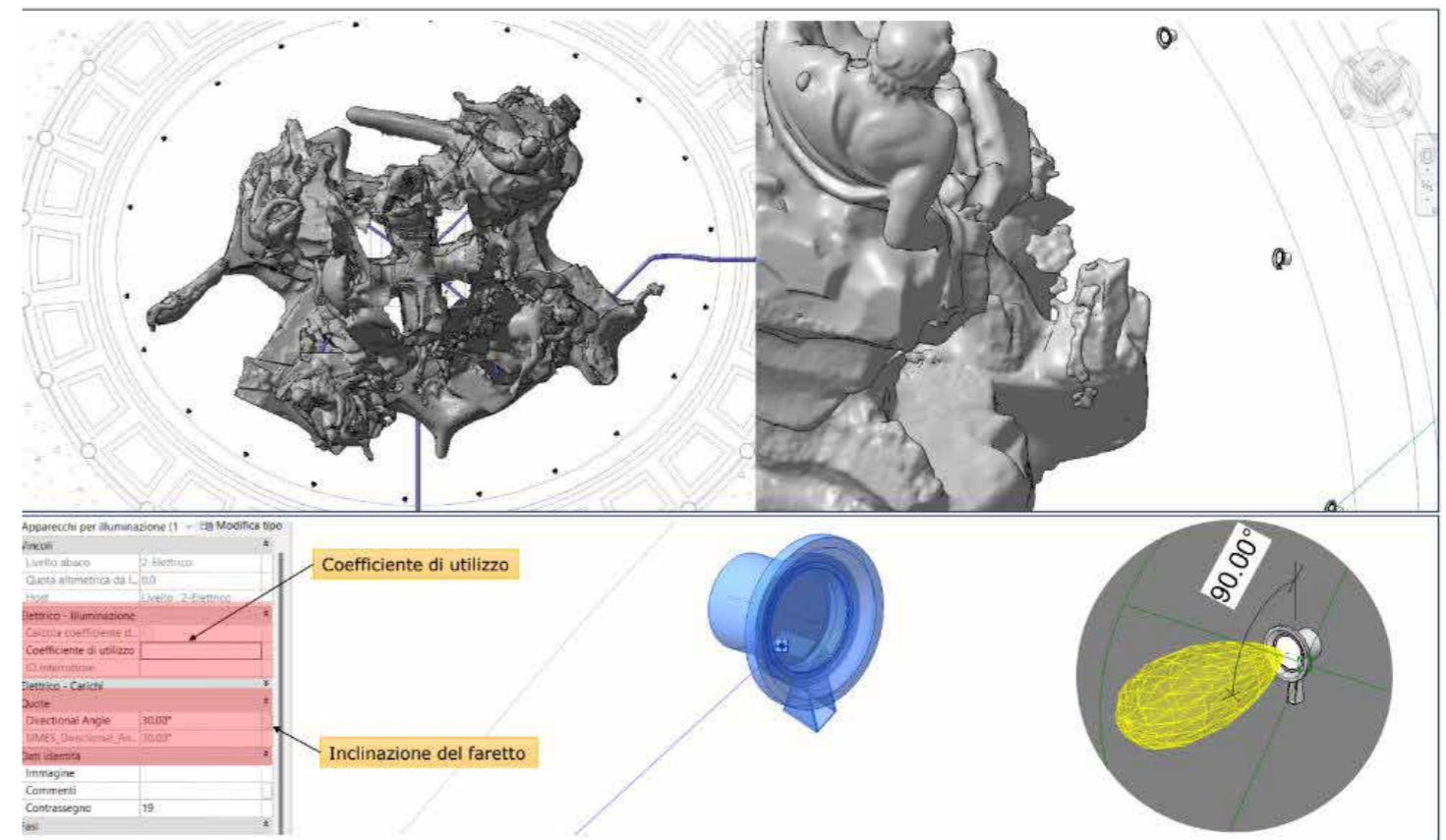


Fig.8 - Esempio di parametri informativi aggiuntivi nel modello BIM rispetto agli elementi impiantistici, al fine di determinare il consumo energetico elettrico.

## BIBLIOGRAFIA

Atteni, M., Rossi, M.L. (2022). *HBIM come processo di conoscenza. Modellazione e sviluppo del tipo architettonico*. Milano: Franco Angeli.

Bardati, F (2006). Piazza Borghese. In (Cagiano de Azevedo) *La Facoltà di Economia. Cento anni di storia: 1906-2006*, pp. 81-101. Roma: Rubettino.

Bianchini, C., Inglese, C., Ippolito, A. (2016). Il contributo della Rappresentazione nel Building Information Modeling (BIM) per la gestione del costruito. In (Mingucci, R., Brusaporci, S., Cinti Luciani, S.) *Disegnarecon. B.I.M. Dimension*. Vol 9, n.2, pp. 10.1 – 10.9. L'aquila: L' Aquila University Press.

Borsellino, E (1995). *Palazzo Corsini alla Lungara: storia di un cantiere*. Fasano: Schena editore

Bruno, F. (2013). *Roma e il suo orto botanico. Storia ed eventi*. Roma: Sapienza Università editrice.

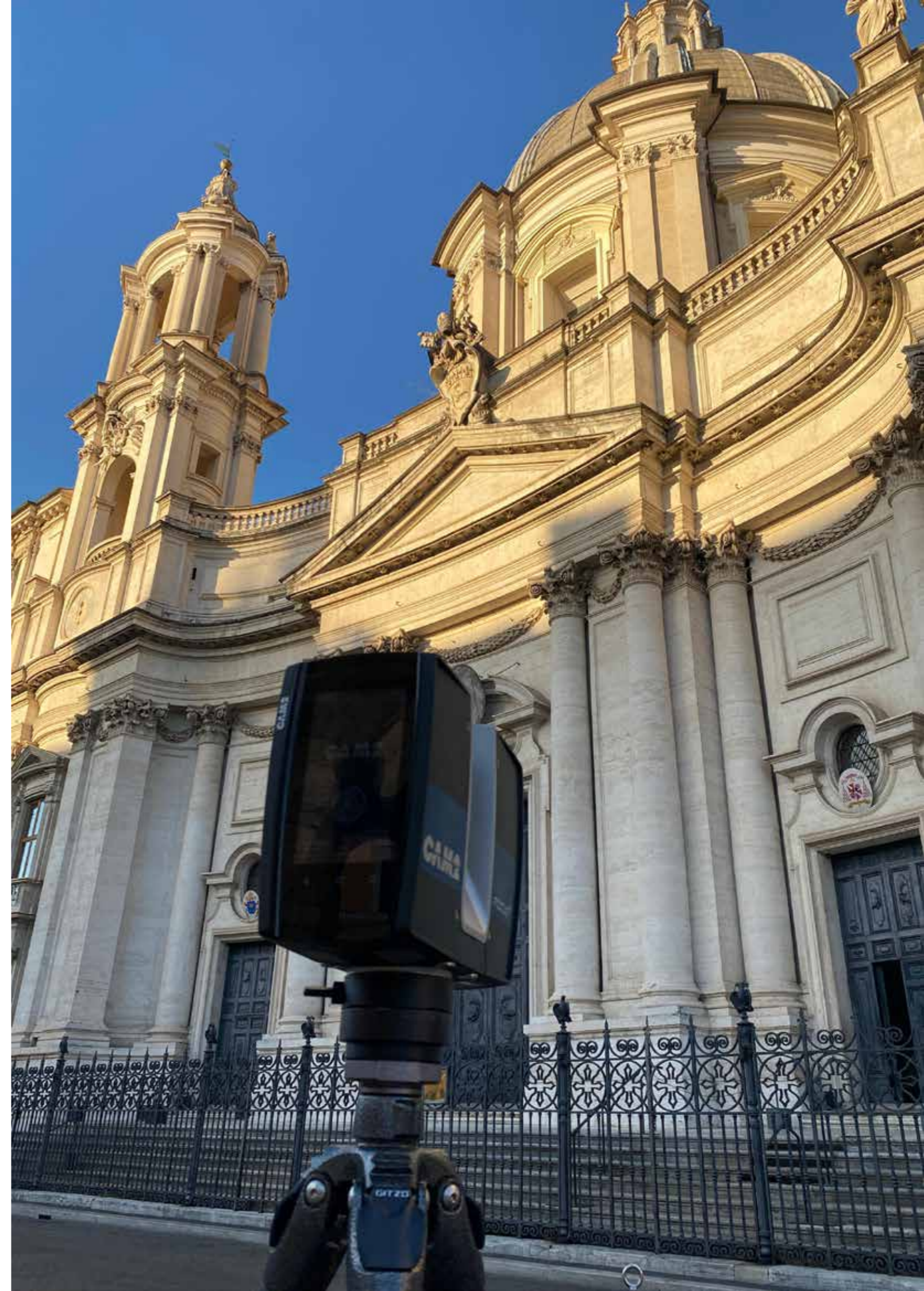
Caldarone, A., (2021). Energy Digital Twin: una procedura HBIM per la riqualificazione energetica negli edifici storici. In (Empler, T., Valenti, G. M) *Dienne. Building Information Modeling Data & Semantics*. Vol 9, pp. 71-80. Roma: DEI Tipografia del Genio Civile.

D'Onofrio, C. (1957). *Le fontane di Roma*. Roma: Staderini editore.

Gigliarelli, E., Calcerano, F., Cessari L. (2017). Heritage BIM, numerical simulation and decision support system: an integrated approach for historical buildings retrofit. In (D'Ambrosio Alfano, F.R., Mazzarella, L., Romagnoni, P.) *Energy Procedia. Mediterranean Conference of HVAC Historical buildings retrofit in the Mediterranean area 12-13 May 2017 - Matera, Italy*, pp. 135-143. Elsevier Ltd.

Ferrari, F., Sasso, D.F., (2016). Integrazione fra BIM e GBC Historic Building: l'innovazione metodologica nel sistema di progettazione e verifica di interventi conservativi. In (Mingucci, R., Brusaporci, S., Cinti Luciani, S.) *Disegnarecon. B.I.M. Dimension*. Vol 9, n.2, pp. 6.1 – 6.6. L'aquila: L' Aquila University Press.

Raimondi, A., Aguerre, M. (2018). MSOT: ottimizzare la scelta dei materiali nel LEED v4 - un caso di studio con il BIM. In *TECHNE: Journal of Technology for Architecture & Environment*, Vol 16, pp. 270-280. Firenze: Firenze University Press.



# INVESTIGATIVA, SURREALE, EVERSIVA. LA MODELLAZIONE 3D NELLA COMPRESIONE DELLO SPAZIO CONTINUO DELLE SCALE APERTE NAPOLETANE.

## INVESTIGATIVE, SURREAL, SUBVERSIVE. 3D MODELING IN THE UNDERSTANDING OF THE CONTINUOUS SPACE OF NEAPOLITAN OPEN STAIRCASES.

### AUTHOR

**Carlos Campos<sup>1</sup>, Alessandra Cirafici<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad de Buenos Aires

<sup>2</sup> Università della Campania Luigi Vanvitelli

### EMAIL

[ccamposarq23@gmail.com](mailto:ccamposarq23@gmail.com);

[alessandra.cirafici@unicampania.it](mailto:alessandra.cirafici@unicampania.it)

## KEYWORDS

MODELLO 3D  
IPER-COLLAGE,  
SCALE APERTE NAPOLETANE  
INVESTIGAZIONE SPAZIALE

## ABSTRACT

Nel corso del 2022 abbiamo sviluppato, in collaborazione tra Università Vanvitelli e FADU, un percorso di indagine conoscitiva, modellazione e rendering di alcune 'scale aperte' napoletane, affidandone la interpretazione e la rappresentazione a gruppi di studenti argentini. Gli esiti del lavoro compiuto restituiscono una applicazione del 3D modelling e del rendering abbastanza lontana dal modo con cui, in ambito accademico, siamo abituati ad intendere l'utilizzo della modellazione. Non tanto per le procedure o per i software utilizzati, ma per il modo con cui l'esito della modellazione entra sia nell'investigazione grafica dell'organismo architettonico sia in un surreale e a tratti eversivo riutilizzo delle immagini in nuovi contesti urbani. Un uso che sembra voler fecondare un terreno di confine tra cultura della rappresentazione dell'architettura e cultura visuale, ma in cui squarci di riflessione si aprono sulla didattica della rappresentazione.

*In 2022, we developed, in collaboration between Vanvitelli University and FADU, a research, modeling, and rendering process for some Neapolitan 'open staircases,' entrusting their interpretation and representation to groups of Argentine students. The outcomes of the work demonstrate an application of 3D modeling and rendering quite different from the way we are used to understanding the use of modeling in the academic field. Not so much because of the procedures or software used, but due to the way in which the result of the modeling enters both the graphic investigation of the architectural organism and a surreal, at times subversive, reuse of the images in new urban contexts. It is a use that seems to seek to fertilize a boundary zone between the culture of architectural representation and visual culture, where insights into the teaching of representation emerge.*

## PREMESSA

La modellazione 3D, che costituisce il tema fondamentale di questo convegno, rappresenta ormai uno strumento irrinunciabile nelle dinamiche della rappresentazione del progetto; anzi potremmo dire senza timore di essere smentiti, che negli ultimi venti anni ha costituito l'elemento essenziale di un cambio radicale di paradigma del pensiero progettuale. Ha introdotto elementi ormai irrinunciabili in quel rapporto tra l'idea progettuale e la sua realizzazione che ha nella delicata dialettica tra rappresentazione e progetto il suo momento più significativo. Costretto tra 'reale' e 'virtuale' il disegno ha, in questi anni, messo a dura prova i suoi statuti geometrici, formali e contenutistici; e lo ha fatto sia per quanto riguarda la funzione che potremmo dire 'esplorativa' che esso esercita nelle sperimentazioni della ricerca progettuale, sia per quanto attiene alla sua funzione 'documentativa' del patrimonio architettonico esistente (sia esso espressione di un passato remoto o recente). Un processo in cui l'ingresso pervasivo delle nuove forme di rappresentazione attraverso laboratori di intelligenza artificiale sembra voler imprimere una nuova e rapida accelerazione di cui non possiamo non comprendere l'enorme portata.

Il fatto è che facendo nostre le parole di Gregotti potremmo dire che "il mezzo di rappresentazione non è mai [...] né indifferente né obiettivo, anzi non è mai mezzo: esso indica e fa parte dell'intuizione progettuale poiché non si tratta della rappresentazione della cosa in sé [...] ma della conversazione progettuale che noi istituamo oltre che con la materia dell'architettura, con la rappresentazione stessa come materia" [Gregotti, 1966, p.29].

Potremmo partire proprio da qui, perché è in fondo questa idea di rappresentazione che ha guidato, negli ultimi anni, alcune esplorazioni del 'pensiero spaziale' portate avanti dagli autori in alcuni progetti di collaborazione tra Argentina e Italia (e dunque tra la FADU e il DADI) nell'ambito di numerosi programmi di Research Fellow e Visiting professor<sup>1</sup>. Ben consapevoli che rispetto all'orizzonte scientifico disciplinare dei contributi di questo convegno il nostro potrà apparire un approccio, per così dire, 'laterale', il contributo intende raccontare alcune di queste esperienze ed in particolare alcune sperimentazioni di utilizzo della modellazione 3D nella interpretazione di quello straordinario

'spazio continuo' messo in scena dalle 'scale aperte napoletane' progettate nella Napoli del '700 dall'audace architetto Ferdinando Sanfelice e dalla sua scuola.

## MODELLI 3D E MODELLI DI CITTÀ. INVESTIGAZIONI GRAFICHE

L'itinerario interpretativo proposto agli allievi della Cattedra Campos della FADU trova la sua linfa nel confronto tra l'idea di città sudamericana, di cui Buenos Aires è esempio emblematico e l'idea di città italiana di cui Napoli e Firenze hanno rappresentato gli esempi di studio. Un confronto tra due modelli di città su cui gli allievi hanno investigato pur non avendo avuto la possibilità di esperire lo spazio urbano in presenza dal momento che gli allievi argentini non sono potuti venuti in Italia, ma hanno seguito attività didattiche e partecipato a visite da remoto!

Le città italiane, e in particolare Napoli, si comportano per l'osservatore attento come veri e propri 'palinsesti'. Strati su strati di edifici di diverse epoche storiche coesistono l'uno sull'altro, sovrappendosi, confrontandosi e associandosi. Tuttavia, perché questa condizione si riveli agli occhi dell'osservatore, è necessario impegnarsi in una lettura profonda e paziente. La lettura di una convivenza quotidiana tra simboli in dialogo tra loro e con gli abitanti, dal momento in cui sono entrati a far parte della vita urbana, è complessa ed ermeneutica. In generale, nelle città italiane, ogni costruzione riflette in modo evidente autentico il periodo storico in cui è stato concepito anche se non mancano azioni di ricostruzione stilistica per così dire eclettica e operazioni di unità di stile non necessariamente originali (il caso della città di Bologna è forse uno dei più chiari in questo senso).

Tuttavia, se studiamo il caso delle città americane, in particolare di quelle sudamericane, il panorama cambia drasticamente.

Scopriamo che si tratta di città molto più giovani - Buenos Aires ha 444 anni di vita - che sono state costruite attraverso crescite e trasformazioni violente e spasmodiche legate a decisioni politiche, ondate migratorie e boom economici ciclici.

<sup>1</sup> Alessandra Cirafici visita FADU nel 2015. Carlos Campos, Visiting Professor presso l'Università degli Studi della Campania, Università Vanvitelli: anni 2017, 2018, 2020. Oltre a queste opportunità, lo scambio accademico è continuo dal 2010.

A causa di queste alterazioni, alcune di queste città sono state contemporaneamente costruite e distrutte, riscrivendo la storia e i segni che la trasmettevano a ogni passo. Buenos Aires è una di queste città, che mostra ancora il suo carattere di città eternamente in continua espansione piuttosto che in fase di completamento. Costruita a partire da modelli importati soprattutto dall'Europa e in particolare da Spagna, Italia, Francia e poi Germania.

Costruita e trasformata rapidamente e ciclicamente in base alle diverse politiche e differenti visioni del mondo, Buenos Aires è, quindi, in grado di adottare e far coesistere uno accanto all'altro e senza scandalo palazzi e monumenti appartenenti a innumerevoli stili in un altro palinsesto. Un nuovo palinsesto che fa di Buenos Aires una vera e propria fantasia urbana. Ogni tipologia, ogni modello proveniente dal vecchio mondo può trovare posto in questa città. Il sogno di Canaletto, che nei suoi dipinti trasportava gli edifici palladiani da Vicenza a Venezia, è presente in ogni strada del centro storico di Buenos Aires.

Questa caratteristica ci ha ispirato - e ci ha permesso - qualche anno fa di "completare" gli spazi della città attraverso la trasposizione e scambio di monumenti rappresentativi della cultura italiana e

argentina, nello spazio del pensiero architettonico e rappresentativo dell'architettura. In tal senso i modelli 3D di alcuni episodi emblematici dell'architettura italiana proposti agli allievi per le loro investigazioni grafiche hanno rappresentato delle occasioni imperdibili per un processo di reinterpretazione tipologica e per operazioni surreali, ma al tempo stesso estremamente sensibili ed evocative in cui quegli esempi hanno trovato posto in nuovi palinsesti urbani con effetti di insospettata credibilità.

Abbiamo iniziato nel 2021 con il Battistero di Firenze (Fig. 1), continuato nel 2022 con le scale aperte napoletane (Fig. 5-6-7-8) e nel 2023 con il tempio di San Pietro in Montorio del Bramante (Fig. 4). Nel 2024 abbiamo appena finito di lavorare su Palazzo Davanzati a Firenze (Fig. 2-3). In tutti i casi si è trattato di proporre agli studenti una strada coraggiosa, a tratti spericolata, che li ha portati ad usare la modellazione 3D per investigare, interpretare e manipolare spazi complessi che, come sottolineato in precedenza, non hanno avuto la possibilità di sperimentare fisicamente e dunque con un altissimo 'potenziale creativo' nella dinamica rappresentativa.



Fig. 1 - RA Campos.2022.Battistero di San Giovanni.Fantasia Urbana.Parco di Palermo, Buenos Aires



Fig. 2 - RA Campos 2024. Palazzo Davanzati. Infografía.



Fig. 3 - RA Campos 2024. Palazzo Davanzati. Fantasia urbana. San Telmo, centro storico. Buenos Aires.



Fig. 4 - RA Campos 2023. Tempietto di San Pietro in Montorio, Roma. Infografía.



## IL CASO DELLE SCALE NAPOLETANE

Un caso particolarmente interessante per questo processo è stato quello delle scale aperte napoletane. Napoli si scopre percorrendo le sue scale. Ci parlano di fantasia, di ricchezza, di ingegno, del contributo dello 'stato' alla vita di una città, della fantasia dei privati, dei ritmi di percorrenza di una città fortemente definita dai suoi salti di quota. Ma le scale di Napoli, scale pubbliche o private, non sono semplicemente oggetti funzionali. Non servono solo a superare il dislivello tra due quote. La loro importanza è simbolica, sono veri e propri balconi sul golfo, o passeggiate che scandiscono gerarchicamente lo spazio, dando al loro percorso una metrica particolare, un angolo di attacco, una passeggiata tra volte a crociera e solidi pilastri di pietra.

Nel corso del 2022 abbiamo sviluppato, come si è detto, in una collaborazione tra Università Vanvitelli e all'UBA, un percorso di indagine conoscitiva, modellazione e rendering di alcune 'scale aperte' napoletane, affidandone la interpretazione e la rappresentazione a gruppi di studenti argentini. Attribuita all'architetto Ferdinando Sanfelice, attivo a Napoli nella seconda metà del '700, le scale aperte sono una vera e propria 'invenzione spaziale' la cui più alta espressione è rappresentata dalla esuberante spazialità dei due esempi che si aprono nelle corti palazzo dello Spagnuolo e, appunto, nel palazzo Sanfelice, nel quartiere della Sanità [Gambardella, 1969; Gambardella 2020].

Imparare a modellare l'architettura con un esempio come quello delle 'scale aperte' napoletane è davvero una sfida, ma è anche un'opportunità per ripensare il modo in cui impariamo e produciamo architettura attraverso il disegno e la modellazione. Le scale di Sanfelice occupano una parte importante delle corti di d'ingresso e, lungi dall'essere relegate a uno spazio meramente residuale o a un collegamento funzionale tra i livelli dell'edificio, costituiscono una vera e propria *promenade* che accompagna e filtra percettivamente il passaggio da interno ad esterno, da privato a pubblico, non senza un certo grado di teatralità che contraddistingue la cultura napoletana. L'androne, il cortile e le scale rappresentano un vero e proprio 'dispositivo spaziale' con una forte impronta scenografica, che regala a chiunque lo attraversi l'esperienza affascinante e poetica di essere parte di una 'messa in scena'.

In questo senso imparare a modellare l'architettura con le scale napoletane insegna ad allontanarsi dai canoni funzionalisti per abbandonarsi metaforicamente all'intuizione fantastica ad ogni gradino. La costruzione ardita e quasi aerea dei rampanti sfalsati tra archi e pilastri delicatamente scolpiti e decorati sorretti da strutture voltate a crociera è tutt'altro che funzionale. La scala ascendente del palazzo Sanfelice - che viene spesso indicata come 'scala ad ali di gabbiano' - è un'eccellente dimostrazione della padronanza della geometria, delle tipologie costruttive e della teatralizzazione dello spazio. Non si può fare a meno di immergersi in una dimensione regale attraversando queste volte a forma di toroide ascendente che conducono a un pianerottolo da cui le volte si intersecano in un'unione complessa, proprio dove ci si affaccia di nuovo verso l'ingresso, mentre i corrimano diventano pilastri cilindrici con sfere in asse con i punti focali dello spazio ellittico. Uno spazio dinamico, geometrico, il cui ordine è difficile da comprendere se non attraverso la modellazione 3D.

Ma il modello è in verità solo il primo passo di questo itinerario alla scoperta delle potenzialità espressive delle scale e delle fantasie urbane che da esse possono derivare. Percorrendo all'inverso il processo che guidò Sanfelice dalle 'fantasie spaziali' delle incredibili macchine da festa di cui fu artefice sino alla realizzazione in pietra delle sue sperimentazioni di cartapesta, agli studenti è stato chiesto di utilizzare i modelli delle scale come attivatori di nuove utopie e visioni urbane. Una volta comprese le complesse articolazioni spaziali e rappresentate attraverso precisi modelli 3D le evoluzioni dei rampanti i modelli hanno smesso di appartenere a quella specifica esperienza architettonica e urbana e hanno popolato nuove ipotesi spaziali in una sorta di 'iper-collage' tridimensionale che per certi versi sembra preludere alle manipolazioni digitali a cui in questo ultimo anno ci hanno abituato i laboratori di intelligenza artificiale.

Attraverso rendering, storyboard, uso spregiudicato del fuorisca, prendono vita 'fantasie urbane' in un gioco di trasposizioni che l'Architettura reale produce molte più volte di quanto non saremmo portati a credere o a riconoscere. Fantasie urbane? Desiderio di possedere emulatori delle icone che hanno forgiato la nostra storia? Colonialismo culturale? Ammirazione? Necessità di esaltare gli stessi valori, per cui riproduciamo le stesse forme?

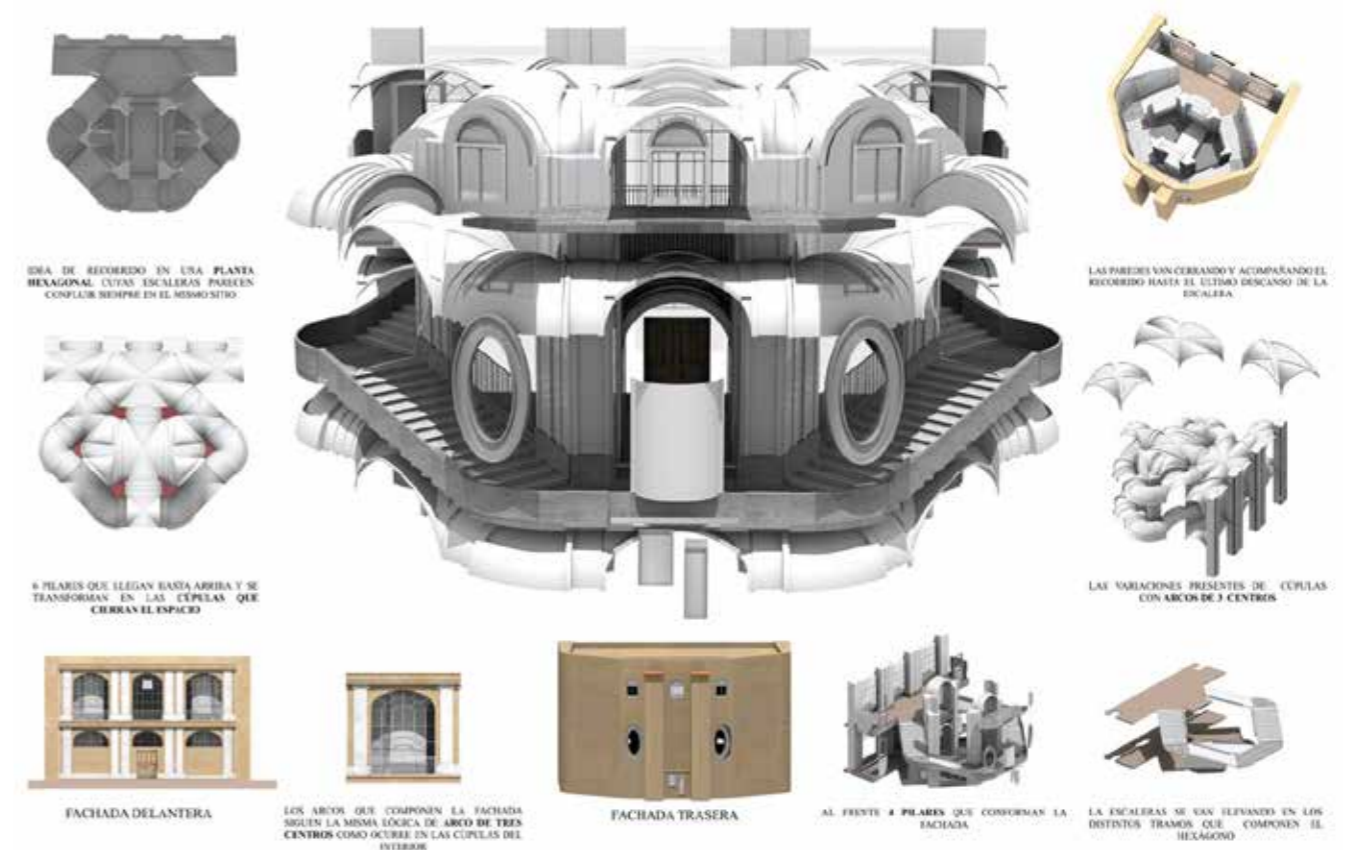


Fig. 5 - RA Campos 2022. Palazzo Cassano Ayerbo D'Aragona. Modellazione 3D dello scalone principale.



Fig. 6. RA Campos 2022. Scale aperte napoletane. Fantasia urbana. Buenos Aires. Clorindo Testa Banca di Londra.



Fig. 7 - ampos 2022. Scale aperte napoletane. Palazzo dello Spagnuolo. Pasaje General Paz, Buenos Aires.

Nel lavoro svolto dai nostri studenti, i motivi della ricollocazione di esempi emblematici dell'architettura italiana, dal Battistero di Firenze, alle scale napoletane, il Palazzo Davanzati (museo della casa Fiorentina antica) o al Tempietto di San Pietro in Montorio nel contesto di Buenos Aires - una città costruita da immigrati che non hanno mai smesso di seminare i propri monumenti in una città sconosciuta - sono altri: l'ammirazione, certo, ma anche l'ironia, la giocosità e la disposizione verso l'aleatorietà e le ucronie.

## CONCLUSIONI

Le immagini presentate corrispondono a diverse ricerche e a differenti approcci. In alcuni casi, la costruzione 3D che investiga e riproduce la esatta geometria e la sintassi degli elementi che sostiene l'architettura modellata è una sfida in sé. E' il caso degli elaborati che si riferiscono al Tempietto di san Pietro in Montorio, (Fig. 4) o della ricostruzione della scala aperta del Palazzo Cassano Ayerbo D'Aragona (Fig 5) o del Palazzo Davanzati (Fig. 5, 4, 2). Queste realtà sono molto diverse da quelle che uno studente universitario di Buenos Aires, può sperimentare. Da questo punto di vista, la costruzione meticolosa degli elementi costitutivi e dell'architettura stessa non è solo una grande esperienza di apprendimento, ma un vero e proprio viaggio nel tempo.

Tutti gli esempi scelti presentano una grande complessità. Dai toroidi ellittici di Palazzo Sanfelice agli intricati motivi marmorei del Battistero di San-giovanni a Firenze. Importare queste complessità, portarle con l'immaginazione nella città di Buenos Aires (Fig. 1,3,6,7,8), risveglia la possibilità non solo di generare nuovi dialoghi immaginari con i monumenti esistenti della città, ma soprattutto, (e questa



Fig. 8 - RA Campos 2022. Scale aperte napoletane. Palazzo dello Spagnuolo. Teatro Colon, Buenos Aires.

potrebbe essere la caratteristica più importante del lavoro), di iniziare a costruire una scala personale di confronti, in cui lo studente percepisce giorno per giorno il valore dei nostri monumenti.

In tutti i casi si è trattato di proporre agli studenti una strada coraggiosa, a tratti spericolata, che li ha portati ad usare la modellazione 3D per investigare, interpretare e manipolare spazi complessi che non hanno avuto la possibilità di sperimentare fisicamente e dunque con un altissimo 'potenziale creativo' nella dinamica rappresentativa.

Si tratta evidentemente di un ambito di applicazione del 3D modelling abbastanza lontano dal suo consueto impiego nella rappresentazione delle forme; un uso che sembra voler fecondare un terreno di confine tra rappresentazione dell'architettura e con la cultura visuale, ma in cui squarci di riflessione si aprono sulla didattica della rappresentazione. In una delle sue folgoranti definizioni Bauman definiva il 'confine' non come un luogo di separazione ma come un luogo in cui 'accadono cose' che solo i visionari sono in grado di vedere. Ebbene in quel confine ci piace di sostare!

## BIBLIOGRAFIA

Bruno, W. (Ed.). (2019). *Entropia. Un affascinante viaggio tra ordine e disordine*. Roma: Nane edizioni.

Carbone, M., Kirchmayr, R. (Eds.). (2022). *La filosofia come sapere visuale*. [Special issue]. In *AUT AUT n.396*. Milano: Il Saggiatore.

Cshneider, S. (2020) *ARTIFICIAL YOU. L'intelligenza artificiale e il futuro della tua mente*. Milano: Il Saggiatore. (Traduzione di Giovanni Malafarina)

Gambardella, A. (2020). *Ferdinando Sanfelice Per un'altra idea di architettura del Settecento*. Siracusa: Lettera Ventidue.

Gambardella, A. (1969). *Note su Ferdinando Sanfelice architetto napoletano*. Napoli: Istituto Editoriale del Mezzogiorno.

Gregotti, V. (1966). *Il territorio dell'architettura*. Milano: Feltrinelli.

Pacini, M. (Ed.). (2021). *Come pensa la macchina? Incognite dell'intelligenza artificiale*. [Special issue]. In *AUT AUT n.392*. Milano: Il Saggiatore.

Zerlenga, O. (2018). *Mi illumino di immenso. La scala del palazzo Cassano Ayerbo d'Aragona*. Napoli: La Scuola di Pitagora.

Cirillo, V. (2019). *Riflessioni e suggestioni fra geometria e forma. Le scale del '700 napoletano*. Napoli: La Scuola di Pitagora.



# GRAMMATICA CODIFICATA NEI MODELLI DI ARCHEOLOGIA INDUSTRIALE. IL TEATRO INDIA A ROMA

## CODIFIED GRAMMAR IN THE MODELS OF INDUSTRIAL ARCHAEOLOGY. THE INDIA THEATRE IN ROME

### AUTHOR

Emanuela Chiavoni<sup>1</sup>, Francesca Porfiri<sup>1</sup>, Federico Rebecchini<sup>1</sup>, Maria Belen Trivi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma

### EMAIL

emanuela.chiavoni@uniroma1.it;  
francesca.porfiri@uniroma1.it;  
federico.rebecchini@uniroma1.it;  
mariabelen.trivi@uniroma1.it

## KEYWORDS

ARCHEOLOGIA INDUSTRIALE  
TEATRO INDIA  
MODELLAZIONE HBIM  
DISEGNI D'ARCHIVIO  
RILIEVO MASSIVO INTEGRATO

## ABSTRACT

L'obiettivo del contributo è quello di costruire una grammatica codificata di elementi ricorrenti nell'archeologia industriale, a partire dal caso studio del Teatro India di Roma. L'output, a seguito di un rilievo massivo, è costituito da un modello HBIM che integri un utile repository di disegni d'archivio sul caso studio scelto, e modelli di famiglie identificate in un abaco di elementi ricorrenti, presenti in altri manufatti di archeologia industriale simili, riscontrati in Argentina.

*The goal of the contribution is to construct a codified grammar of recurring elements in industrial archaeology, starting from the case study of the Teatro India in Rome.*

*The output, following a comprehensive survey, consists of an HBIM model that integrates a useful repository of archival drawings on the chosen case study, as well as models of families identified in a catalog of recurring elements present in other similar industrial archaeology artifacts found in Argentina.*

## INTRODUZIONE

La ricerca condotta mira alla creazione di un modello tridimensionale digitale HBIM, capace di accogliere il maggior quantitativo di dati, utili per documentare, conoscere e analizzare un bene culturale tangibile, identificando la sua rilevanza nel contesto in cui si trova, il suo valore storico e le sue potenzialità future. La copia digitale tridimensionale del caso studio qui presentato, appartenente a una specifica categoria di patrimonio culturale, un manufatto di archeologia industriale, deriva da operazioni di rilievo massivo integrato, e prosegue con un procedimento "scan to bim", ponendosi come supporto all'attività di conoscenza del sito, ma anche di gestione e manutenzione futura. Grazie agli strumenti del rilievo e della modellazione in campo HBIM è possibile operare un'analisi critica a partire dagli elementi costituenti dell'opera, dal generale al dettaglio e viceversa, per restituire il suo attuale stato di conservazione. Riscontrando nel caso studio analizzato una serie di elementi specifici, tipici dell'archeologia industriale e ripetuti con un ritmo costante nel complesso generale dell'edificio, è possibile comprendere la matrice strutturale del progetto, identificando le regole geometriche e le relative varianti all'interno della tipologia di paesaggio industriale.

Il caso studio scelto, il complesso del Teatro India a Roma, è situato all'interno dell'area dell'ex Mira Lanza nel quartiere Ostiense, e si inserisce all'interno di una ricerca più ampia che vede protagonista l'analisi, del rapporto tra forma urbana e archeologia industriale per conoscere, catalogare e censire alcuni edifici industriali. L'analisi degli elementi e delle geometrie semplici che caratterizzano questo edificio rivela l'esistenza di architetture con caratteristiche analoghe, specialmente all'interno del patrimonio industriale argentino. Questo suggerisce la possibilità di proporre una grammatica di elementi comuni, materializzabili in famiglie parametriche in ambiente HBIM, applicabili a diversi edifici che rispondano a questa tipologia architettonica.

## RILIEVO E ARCHIVIO DISEGNI

Il complesso del Teatro India, si articola principalmente in due fabbricati architettonici dell'ex area della Mira Lanza, di diversa entità, variabili sia per proporzioni che per composizione, ma con una evidente struttura massiccia in mattoni con funzioni sia strutturali che estetiche, che rendono manifesta la stratificazione di interventi avvenuti nel corso di un arco temporale inserito tra il XIX e il XX secolo (Fig. 1).

All'interno del percorso di conoscenza e analisi morfologica del complesso del Teatro India, l'acquisizione metrico-dimensionale, svolta con sistemi LiDAR, ha costituito un capitolo essenziale del processo di ricerca.

Il rilievo è stato eseguito con il Laser Scanner Faro Focus 3D ed ha previsto il posizionamento di 21 punti di scansione, collocati solamente intorno al perimetro esterno dell'edificio, poiché non è stato possibile accedere all'interno della struttura principale, oggi destinata agli spazi culturali del Teatro India (Fig. 2).

Pur riconvertendo gli spazi interni a favore della nuova destinazione d'uso, l'involucro esterno del complesso del Teatro India ha mantenuto la sua conformazione originaria di fabbrica, in cui una partizione ritmica e costante scandisce la muratura di mattoni a vista attraverso una serie di pilastri in aggetto rispetto al filo esterno della struttura, a partire dai quali è manifesta la strutturazione seriale e ripetuta, con costante ritmo nelle diverse facciate.

È noto come sistemi di acquisizione massiva permettano un'esaustiva elaborazione di dati geometrici, metrici e colorimetrici dell'oggetto rilevato, in cui densità e qualità della texturizzazione degli stessi (grazie al sistema di acquisizione di immagini in HDR) mostrano un grado di accuratezza ottimale per ogni tipo di analisi sincronica e diacronica sul manufatto, avendo come solida base di partenza lo studio e la sistematizzazione delle fonti d'archivio riscontrate.

Tra di esse ci sono i disegni prodotti dagli studenti dei corsi di rilievo della Sapienza.

Il patrimonio archivistico della Facoltà di Architettura, tramite l'archivio Ex-RADAAr (oggi confluito nell'archivio del DSDRA) contiene al suo interno rilievi di numerose architetture romane, storiche e moderne, con particolare attenzione all'archeologia industriale.

Nei disegni del corso possiamo riscontrare piante e prospetti del Teatro India, frutto di meticolosi rilievi, con un'attenzione particolare al dettaglio dell'opera muraria in tutta la sua eterogeneità (Fig. 3).

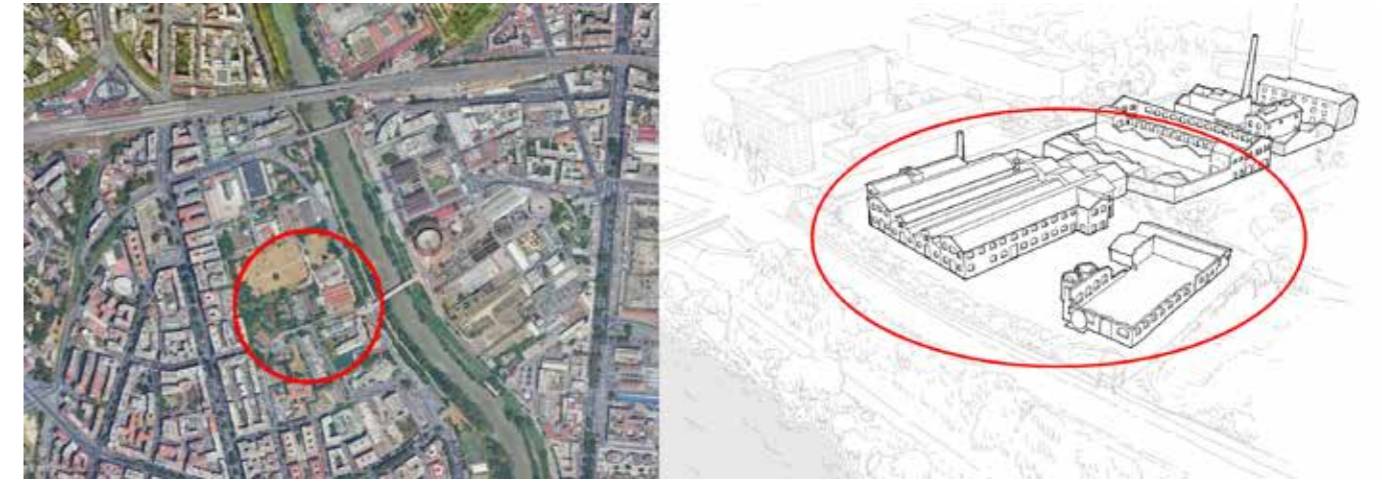


Fig. 1 - A sinistra: Inquadramento del complesso Mira Lanza. A destra: Localizzazione dell'area d'interesse del caso studio, il Teatro India.

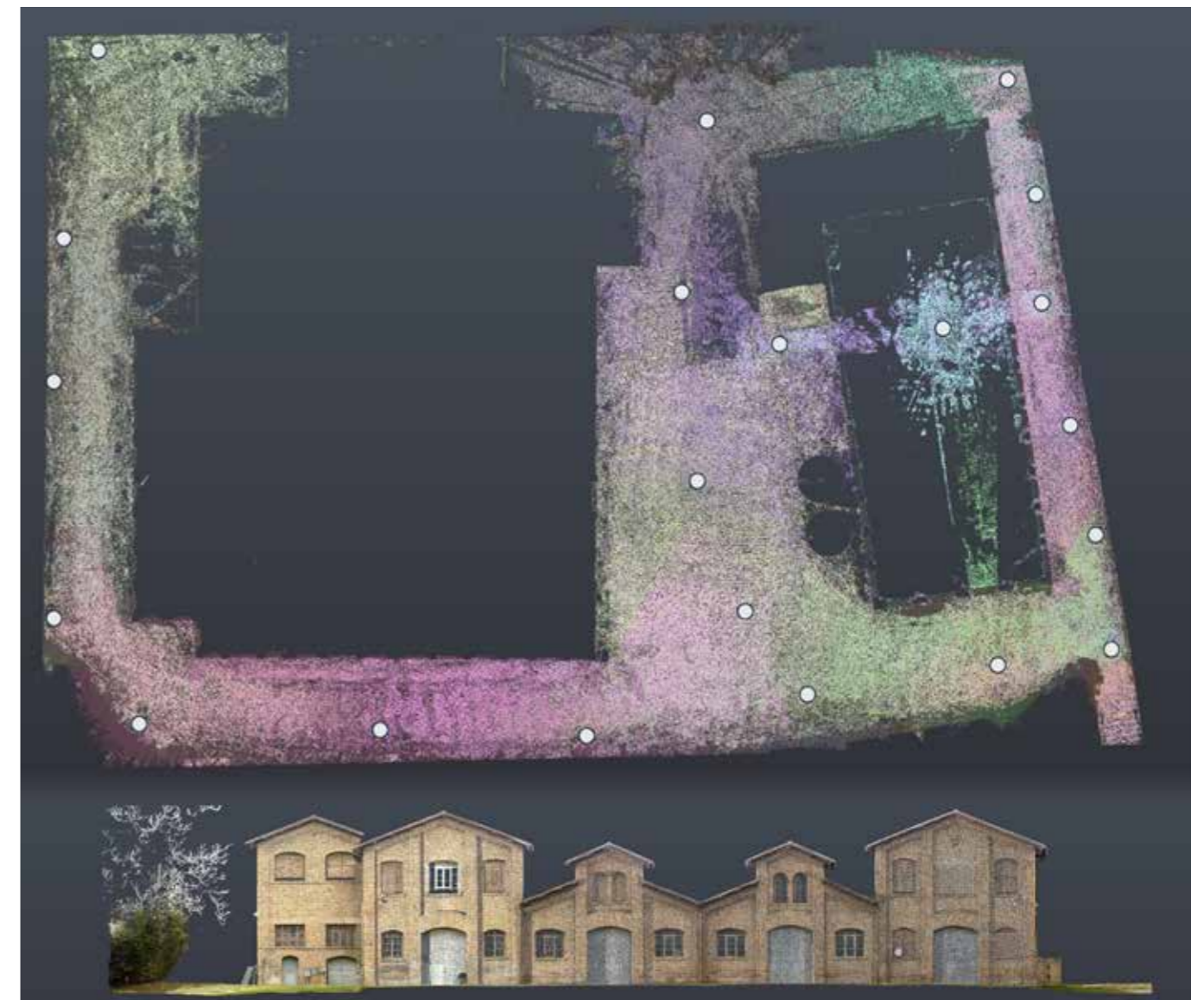


Fig. 2 - Nuvola di punti del Teatro India. In alto visualizzazione planimetrica del complesso con indicati i 21 punti stazione. In basso il prospetto sud, in visione ortografica, dell'edificio principale.

## COMPARAZIONE CRITICA CON EDIFICI ANALOGHI IN ARGENTINA

La creazione del modello parametrico del Teatro India ha comportato un'analisi esaustiva degli elementi che compongono questa tipologia architettonica, al fine di stabilire un criterio chiaro con cui progettare la creazione di famiglie, utili ad una corretta gestione del dato in ambiente virtuale.

Infatti il materiale grafico dell'archivio, menzionato in precedenza, ha agevolato l'identificazione iniziale degli elementi che rispondono alla tipologia architettonica industriale, caratterizzata in generale da volumi paragonabili a dei grandi parallelepipedi, con un interesse estetico rivolto principalmente all'articolazione delle facciate. Le facciate stesse si distinguono per la loro sostanziale planarità e per l'inclusione di elementi ricorrenti: frontoni triangolari, portali frequentemente arcuati sull'asse centrale, un oculo superiore, lesene in aggetto rispetto al filo facciata, l'organizzazione fortemente simmetrica di porte e finestre, e l'utilizzo di architravi rimarcati da una tessitura differente di materiale. Tali aspetti coincidono con il caso studio scelto a Roma, diventando il filo conduttore che collega architetture molto distanti geograficamente.

Il lavoro svolto negli anni '90 del Novecento dal Prof. Mario Docci e dal Prof. Alessandro Sartor insieme ai colleghi argentini, in un proficuo rapporto di collaborazione culturale scientifica, sulla tipologia di edifici denominati bodegas/cantine, soprattutto nell'area di Mendoza, è esemplificativo. Sono state realizzate, infatti, per ciascuna di esse, delle schede scritto-grafiche chiaramente illustrate. In questi manufatti industriali si riscontrano importanti valori geometrici con alternanze, ripetizioni, cadenze delle parti architettoniche. È stata svolta una campagna di rilevamento che prevedeva, nella prima fase, il riconoscimento attraverso il disegno dal vero di ogni bodega, della sua forma, della sua volumetria e del suo inserimento nel contesto anche in relazione allo spazio verde circostante. Nella seconda fase sono stati realizzati eidotipi proporzionati delle diverse facciate dell'edificio. Questa lettura critica svolta tramite il disegno e un'attenta analisi grafica ha consentito di poter comprendere le diverse caratteristiche volumetriche, spaziali e costruttive/tecnologiche di suddetti manufatti, individuando i vari elementi architettonici decorativi caratterizzanti ognuno di essi.

Lo studio condotto ha rivelato come questi specifici manufatti, realizzati in Argentina tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, utilizzassero motivi ornamentali di ispirazione italiana, assimilabili a uno stile neorinascimentale. Essi si distinguono per l'utilizzo di geometrie semplici, per la composizione ritmata e simmetrica e per le tecniche costruttive che quasi sempre ricorrono al laterizio, sia a livello strutturale che formale (Fig. 4).

Dietro a questi progetti spesso c'erano architetti e maestranze provenienti dall'Italia, con un alto grado di abilità nel mestiere, manifestato dall'uso sistematico di proporzioni, dalla composizione architettonica e da un'attenzione al design. Secondo A. Sartor, "il sistema di proporzioni era parte di un mestiere appreso con la pratica e trasmesso come pura esperienza" [Sartor, 2014]. Nel patrimonio industriale argentino, oltre alle *bodegas*, è possibile riscontrare un'altra tipologia architettonica con caratteristiche analoghe: le stazioni ferroviarie, che si distinguevano nel paesaggio urbano con enormi volumi in laterizio. Ne costituiscono un esempio i *Galpones Ferroviarios* (oggi *Museo de la Industria*) nella provincia di Córdoba (1896) o i *Talleres del antiguo Ferrocarril del Oeste de Buenos Aires* nel quartiere di Tolosa (1885). Un confronto diretto tra un prospetto argentino e quello del Teatro India dimostra una continuità nell'impiego dei sistemi costruttivi e delle soluzioni impiegate (Fig. 5).

Nell'ambito identificato, l'architettura industriale di fine XIX e inizio XX secolo, nelle varianti tipologiche qui menzionate, si presta a sperimentazioni nel campo dell'HBIM grazie alla chiarezza dei volumi che la compongono e agli elementi ripetibili riscontrati. I fattori analoghi che si possono osservare nel Teatro India e in altri edifici industriali argentini qui menzionati, suggeriscono la possibilità di creare una grammatica di elementi comuni, appartenenti all'archeologia industriale. Ciò consente la creazione di modelli di famiglie parametriche, caricabili all'interno di futuri modelli HBIM, che fanno parte di un inventario sistematizzato di elementi ricorrenti, utilizzabili trasversalmente da chi si occupa dello studio e dell'analisi e della modellazione digitale di questa specifica tipologia architettonica.

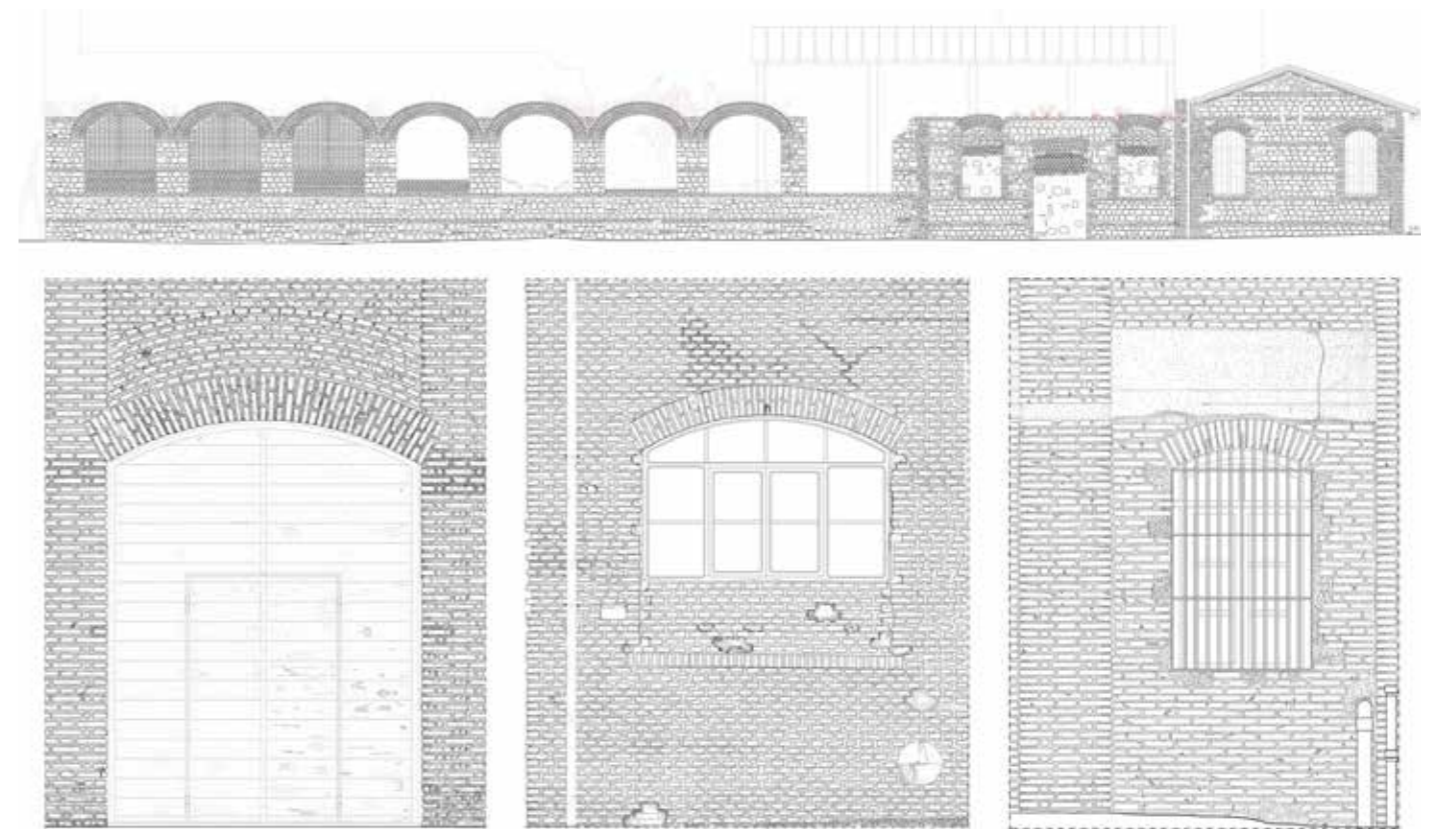


Fig. 3 - Sopra: Teatro India, prospetto sud del magazzino. Rilievo architettonico scala 1:50. Corso di Scienza della Rappresentazione III, prof. M.Docci, studenti M. Antonini, I. Bassetti, M. Bellini, A.A. 2005/2006, disegno cad (ARDISCont 82.8). Sotto: Dettagli delle bucatore sul corpo principale del Teatro India. Rilievo architettonico scala 1:20. Corso di Scienza della Rappresentazione III, prof. M.Docci, studenti M. Caramella, F. Castelli, G. Decandia, A.A. 2005/2006, disegni cad (ARDISCont 5.14, 5.13, 5.12).

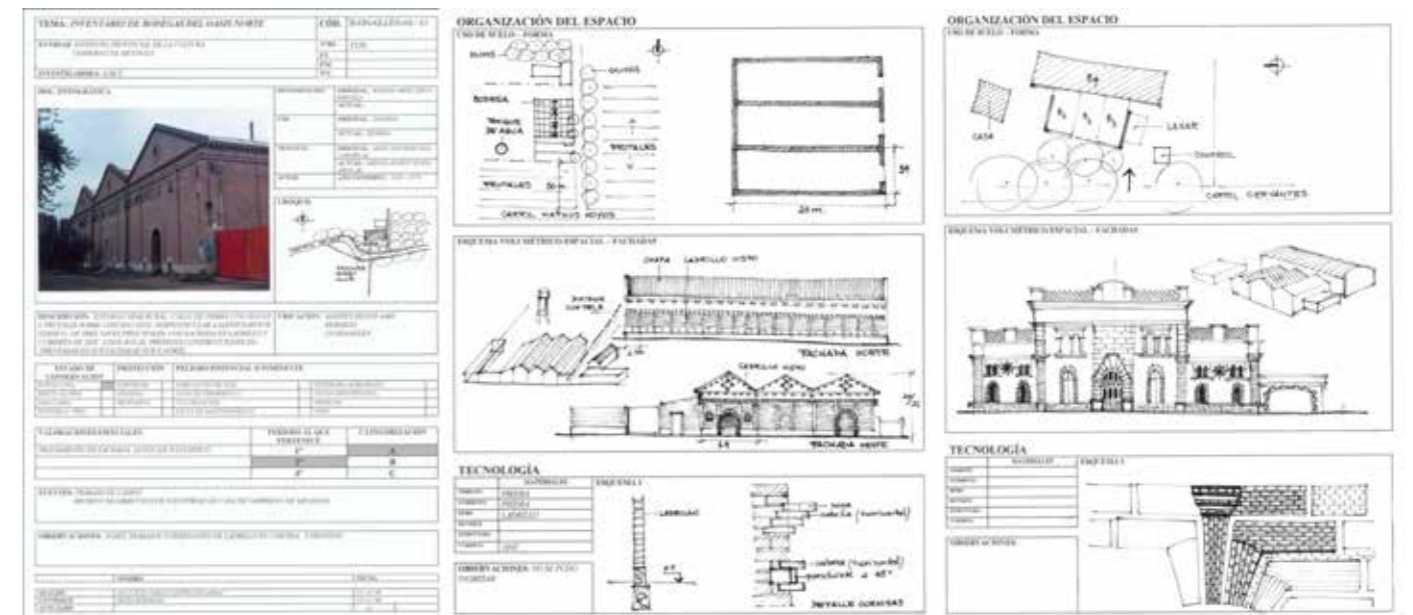


Fig. 4 - Esempio di schede di catalogazione e rilievo delle "Cattedrali del Vino" di Mendoza, Prof. M. Docci, Prof. A. Sartor, Prof.ssa E. Chiavoni. Soggetto dell'analisi: Arizu escoriahuela, edificio del 1926.

## MODELLAZIONE HBIM

La modellazione dell'intero complesso, condotta a partire dalla nuvola di punti 3D, attraverso il procedimento "scan to bim", può restituire la conformazione spaziale attuale e costituire nel contempo la creazione di un repository utile in cui inserire i disegni di archivio.

In una prima fase di lavoro è stata operata una classificazione semantica degli elementi compositivi, attraverso una scomposizione, legata alla riconoscibilità delle loro caratteristiche formali.

Come primo passo nel processo metodologico condotto, è stato utilizzato il software Cloud Compare per la segmentazione della nuvola di punti, utilizzando lo strumento scalar field per associare alla nuvola diversi valori che permettessero di identificare la serie di elementi specifici, definiti come stili di progetto di architettura industriale. La divisione degli elementi compositivi è espressa attraverso diversi colori che aiutano a scomporre l'oggetto architettonico in base ai suoi aspetti formali (Fig. 6).

Si è deciso di focalizzare l'attenzione sul prospetto sud dell'edificio principale, in cui sono state dapprima individuate le griglie a partire dalle paraste in aggetto presenti sull'intero perimetro dell'edificio, che strutturano in maniera ritmata le facciate dell'intero complesso (Fig. 7).

Dunque una volta modellata la geometria generale del prospetto sud, composta da quattro corpi architettonici, connessi tra loro attraverso coperture differenziate, si è deciso di procedere alla modellazione degli elementi che vanno a comporre la cosiddetta "grammatica" dell'archeologia industriale, precedentemente individuate in Cloud Compare, partendo ad esempio dalle bucatore che si ripetono in maniera seriale e ritmata sul prospetto.

Utilizzando il plug-in di Revit DiRootsOne è possibile infatti isolare la porzione della nuvola di punti che interessa l'elemento scelto, selezionando come family template "modello generico metrico", creando una nuova famiglia metrica (.rta), caricabile successivamente nel progetto generale.

All'interno di ogni nuova famiglia creata è possibile stabilire dei vincoli sia a livello geometrico (ad esempio i rapporti proporzionali tra base/altezza/spessore della bucatore) sia a livello dei materiali che lo compongono (ad esempio l'utilizzo del legno e del vetro per gli infissi).

In questo modo si andrà a costituire una libreria di famiglie caricabili, ripetibili e modificabili, in cui la logica proporzionale/seriale è alla base della loro progettazione (Fig. 8).

A partire dalla definizione dei parametri corrispondenti ad ogni bucatore, e vincolando parametricamente i valori geometrici ad essa associati, ricavati dalla misurazione della nuvola di punti, sarà possibile completare la modellazione dell'edificio, selezionando e variando i parametri dei suoi elementi seriali e ripetibili, applicando la stessa metodologia anche agli altri elementi precedentemente isolati (altre tipologie di finestre, porte, pilastri in aggetto, ecc...).

## CONCLUSIONI

L'esplorazione delle somiglianze tra gli edifici qui selezionati e l'analisi in dettaglio attraverso la modellazione parametrica, permettono l'aprirsi di nuovi scenari di ricerca. La creazione di un modello parametrico del Teatro India è infatti solo il primo passo verso un approccio integrato e collaborativo per comprendere e gestire l'architettura industriale di entrambi i paesi. Il processo metodologico, seppur in fase di ultimazione, sarà applicabile, per verifica, agli edifici argentini qui mostrati per il confronto critico degli elementi di dettaglio, a seguito di un rilievo massivo attualmente in fase di programmazione. L'architettura industriale, sia essa Italiana o Argentina offre una composizione di elementi architettonici ben definiti, spesso ricorrenti, e la loro raccolta e sistematizzazione in un abaco di famiglie parametriche sembra una strada percorribile per facilitare il processo di modellazione HBIM di questa tipologia di manufatti. Questo processo permette di creare un sistema ontologico di riferimento per l'analisi dell'archeologia industriale, contribuendo alla conservazione dell'identità culturale e architettonica dei due paesi, garantendo un patrimonio duraturo per le generazioni future.

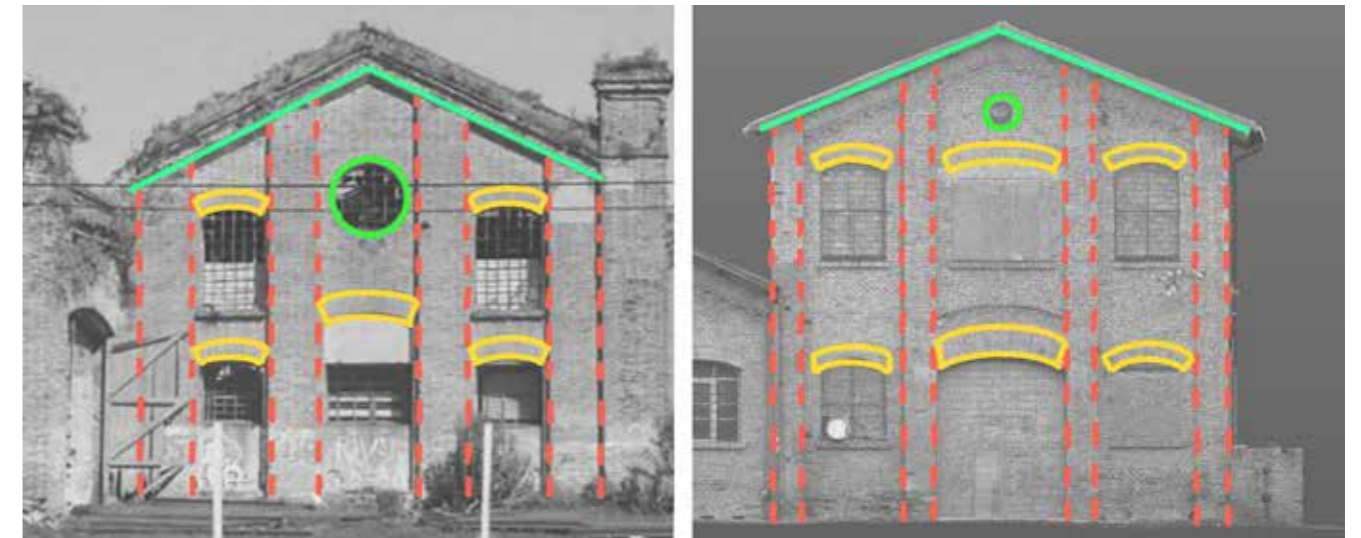


Fig. 5 - Confronto tra elementi ricorrenti evidenziati nei prospetti di architettura industriale sia argentina che italiana. A sinistra: Talleres del antiguo Ferrocarril del Oeste de Buenos Aires (Ferrocarril Sarmiento), Tolosa (Argentina), 1885; a destra: Teatro India (Ex Mira Lanza), 1919.



Fig. 6 - Nuvola di punti segmentata all'interno del software Cloud Compare, dove è possibile isolare e individuare i diversi elementi identificati.

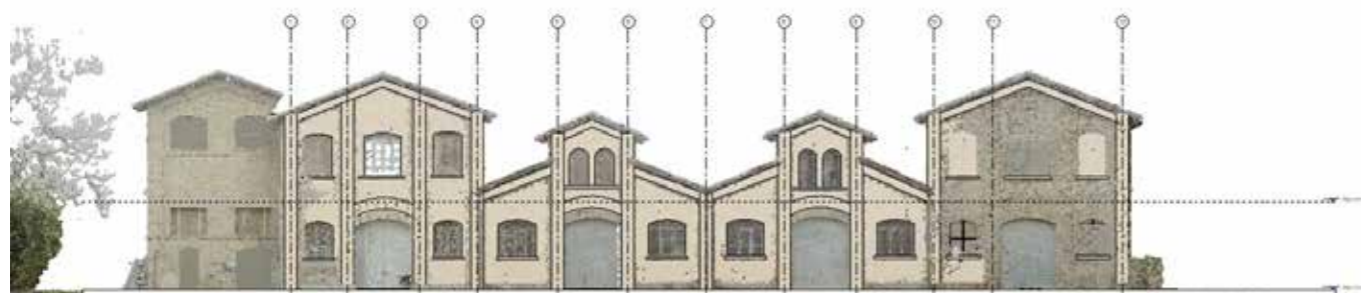


Fig. 7. Prospetto sud del Teatro India, visione ortografica della nuvola di punti con sovrapposta la modellazione in ambiente BIM, dove sono presenti le griglie e i livelli inseriti nel progetto.

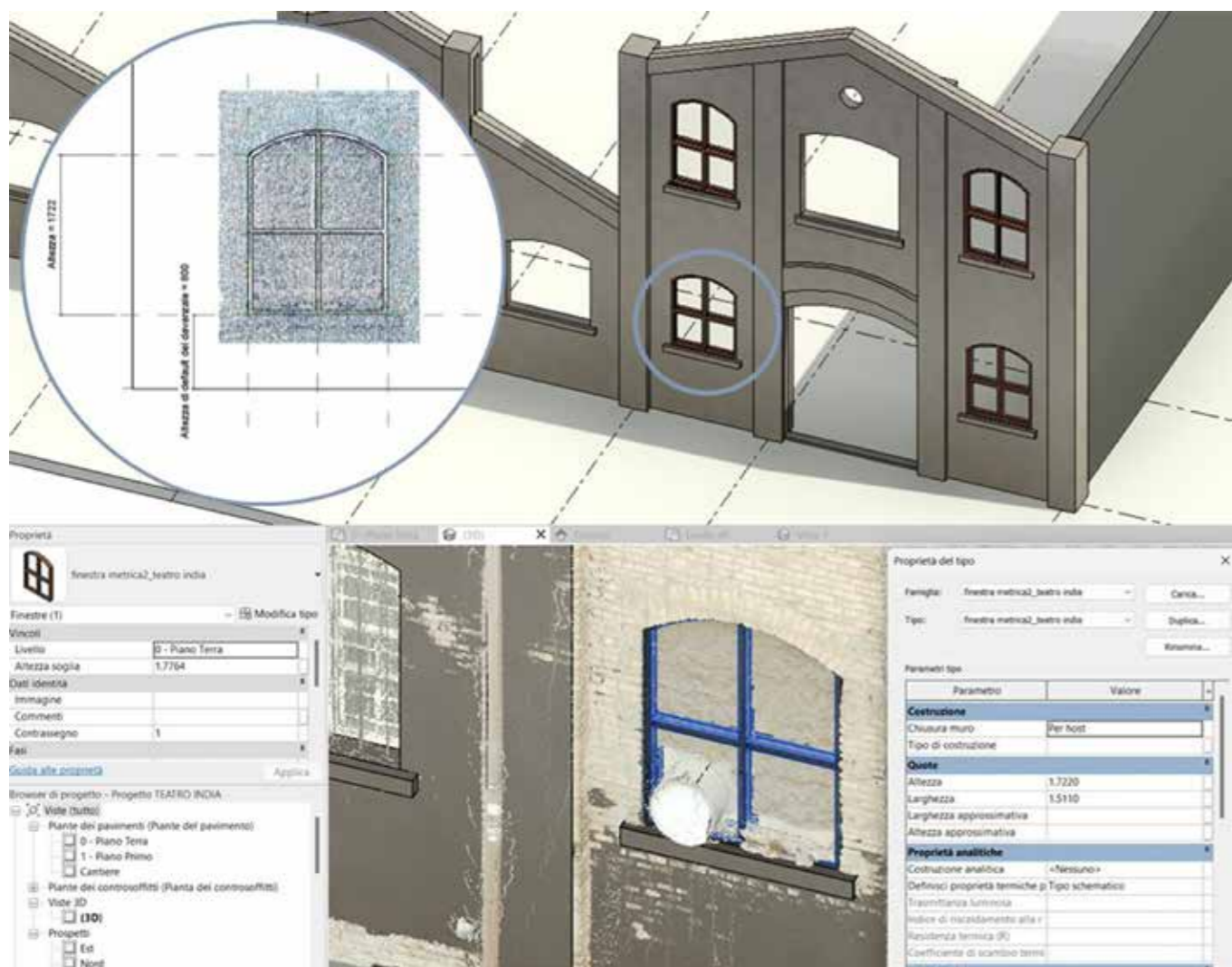


Fig. 8. Esempio di modellazione di famiglia metrica, selezionando una finestra del prospetto sud del Teatro India. Nel processo di lavoro si nota la selezione della porzione di nuvola di punti interessata (attraverso DiRootsOne) e la definizione in ambiente BIM dei parametri geometrici, ad essa associati, vincolati tra loro per la fase di modellazione.

## BIBLIOGRAFIA

Bianchini, C., Nicastro, S. (2018). From BIM to H-BIM. *3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) held jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia VSMM 2018*, pp. 1-4.

Campitelli, A., & Tolomeo, M. G. (1984). Servizi generali e industrie private sulla via Ostiense. In *Roma Capitale 1870-1911. Architettura e urbanistica. Uso e trasformazione della città storica*, pp. 455-462. Venezia: Marsilio

Campitelli, A. (1989). Lo sviluppo industriale a Roma dal XIX al XX secolo. In *La città europea. Nuove città e vecchi luoghi di lavoro*, pp. 325-351. Bologna.

Carbonari, F., Chiavoni, E., Porfiri, F., & Trivi, M. B. (2022). Architetture "elettriche" in Argentina: conoscenza tra disegno e memoria. In E. Currà, M. Docci, C. Menichelli, M. Russo, & L. Severi (a cura di). *Stati Generali del Patrimonio Industriale. Atti del Convegno 2° Stati Generali del Patrimonio Industriale*. Roma e Tivoli, 9-11 giugno 2022, cap. 9.3.10. Venezia: Marsilio Editori.

Chiavoni, E. (2002). Archeologia industriale a Roma: un'analisi attraverso il disegno. In *Disegnare Idee Immagini*, n 13, vol 25, pp. 82-89. Roma: Gangemi Editore.

Chiavoni, E. (2003). L'archeologia industriale come occasione di riqualificazione urbana. In E. Mandelli (a cura di). *Il disegno della Città. Opera aperta nel tempo*. Atti del Convegno Internazionale AED, Materia e Geometria 11/2002. San Gimignano 28-30 giugno 2002. Firenze: Alinea Editrice.

Chiavoni, E. (2014). Le cantine di Giol a San Polo di Piave. In M. Filippa (a cura di). *Il contributo italiano allo sviluppo culturale in Argentina. Nuove metodologie per la conoscenza e la valorizzazione del Patrimonio*, pp. 45-53. Bologna: Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna.

Cipolletta M., Darwa R., Ippolito A., Porfiri F. (2023). Dall'analisi storica ai nuovi modelli informatizzati HBIM: un processo critico sul Chiostro di S. Maria della Pace. In *3D Modeling & BIM. Soluzioni per il Cultural Heritage*, pp. 114-125. Roma: Edizioni DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE.

Cigola, M., & Chiavoni, E. (2014). Le Ville Giol e Gargantini a Maipù-Mendoza. Analisi e lettura di due architetture italiane in Argentina. In M. Filippa (a cura di). In *Il contributo italiano allo sviluppo culturale in Argentina. Nuove metodologie per la*

conoscenza e la valorizzazione del Patrimonio, pp. 54-65. Bologna: Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna.

Croce, V., Caroti, G., De Luca, L., Jacquot, K., Piemonte, A., & Véron, P. (2021). From the Semantic Point Cloud to Heritage-Building Information Modeling: A Semiautomatic Approach Exploiting Machine Learning. In *Remote Sensing*, 13(3), p. 461.

Della Corte, N. (2017). *Roma abbandonata e il fenomeno del cinema dismessi: criticità del BIM per il costruito*. Tesi dottorale, Sapienza Università di Roma.

Girini, A., & Sartor, A. (2008). La Bodega Cavagnaro. Un contributo allo studio delle connessioni culturali tra Italia e Argentina The Bodega Cavagnaro. In *Disegnare idee immagini*, n 37, pp. 38-47. Roma: Gangemi Editore

Grütter, G. (1997). Sulla periferia. Schedatura di alcuni edifici di archeologia industriale. In *Rappresentazione dell'architettura e dell'ambiente: principi costitutivi del progetto tra artificio e natura*, vol. II, pp. 187-205. Roma: Murst

Sartor, A. (2014). La Bodega de Mendoza. In M. Filippa (a cura di). In *Il contributo italiano allo sviluppo culturale in Argentina. Nuove metodologie per la conoscenza e la valorizzazione del Patrimonio*, pp. 34-44. Bologna: Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna.



# L'AR UN PONTE TRA PASSATO E PRESENTE. IL PARCO ARCHEOLOGICO DI METAPONTO E GLI IPOGEI LAGRASTA A CANOSA DI PUGLIA.

## AR A BRIDGE BETWEEN PAST AND PRESENT. METAPONTO ARCHAEOLOGICAL PARK AND LAGRASTA HYPOGEA IN CANOSA DI PUGLIA.

### AUTHOR

**Antonio Conte<sup>1</sup> (\*), Marianna Calia<sup>1</sup> (\*\*), Roberto Pedone<sup>1</sup> (\*\*\*) , Rossella Laera<sup>1</sup> (\*\*\*) , Emanuela Borsci<sup>1</sup> (\*\*\*) , Ali Yaser Jafari<sup>1</sup> (\*\*\*) , Valerio Maria Sorice<sup>2</sup> (\*\*\*)**

<sup>1</sup> Università degli Studi della Basilicata (UNIBAS) – Sede Matera

<sup>2</sup> Dipartimento per l'Innovazione Umanistica, Scientifica e Sociale (DIUSS).

### EMAIL

[antonio.conte@unibas.it](mailto:antonio.conte@unibas.it);

[marianna.calia@unibas.it](mailto:marianna.calia@unibas.it);

[roberto.pedone@unibas.it](mailto:roberto.pedone@unibas.it);

[rossella.laera@unibas.it](mailto:rossella.laera@unibas.it);

[emanuela.borsci@unibas.it](mailto:emanuela.borsci@unibas.it);

[aliyaser.jafari@unibas.it](mailto:aliyaser.jafari@unibas.it)

[valeriosorice@gmail.com](mailto:valeriosorice@gmail.com)

## KEYWORDS

ARCHEOLOGIA INDUSTRIALE  
TEATRO INDIA  
MODELLAZIONE HBIM  
DISEGNI D'ARCHIVIO  
RILIEVO MASSIVO INTEGRATO

## ABSTRACT

Il contributo indaga il ruolo della Realtà Aumentata come strategia esplorativa di conoscenza applicata al progetto di Architettura nei siti archeologici di Metaponto (Matera) e degli Ipogei Lagrasta (Canosa di Puglia).

L'interazione tra architettura e archeologia attraverso l'AR consente di osservare e immaginare, documentando, alcune testimonianze costruite del passato in modo innovativo, arricchendo i processi metodologici legati all'accessibilità, anche virtuale, in contesti consolidati non ancora indagati ma inseriti attraverso disegni e visioni del progetto in attive e rigenerate suggestioni per nuove reti culturali.

*The contribution investigates the role of Augmented Reality as an exploratory knowledge strategy applied to the design of Architecture in the archaeological sites of Metaponto (Matera) and in the hypogeum Lagrasta (Canosa di Puglia).*

*The interaction between architecture and archaeology through AR makes it possible to observe and imagine, documenting, some built testimonies of the past in an innovative way, enriching the methodological processes linked to accessibility, also virtual, in consolidated contexts not yet investigated but inserted through designs and visions of the project in active and regenerated suggestions for new cultural networks.*

## FORME E LUOGHI DELL'ABITARE LA TERRA: IL PROGETTO DI ARCHITETTURA NEI PAESAGGI ARCHEOLOGICI. (\*)(\*\*)

“Costruire, significa collaborare con la terra, imprimere il segno dell'uomo su un paesaggio che ne resterà modificato per sempre; contribuire inoltre a quella lenta trasformazione che è la vita stessa delle città”.

Questa frase tratta da “Memorie di Adriano” di Marguerite Yourcenar, rappresenta Villa Adriana a Tivoli (118-138 d.C.) [Yourcenar, 2014] come luogo in cui i miti della poetica e dell'esperienza reale prendono forma e la concezione del viaggio, del tempo e della memoria entrano in stretto contatto con le culture più profonde del Mediterraneo. Le attuali indagini e ricostruzioni virtuali degli archeologi di questo luogo, delle sue architetture, si intrecciano con le sapienti opere che gli architetti hanno costruito e tramandato come rappresentazione del mondo conosciuto in una lunga tradizione di costruzione e collaborazione a partire dai caratteri e dalla forma della terra.

Molto spesso gli ambiti conoscitivi e le discipline legate alla scoperta e alla divulgazione del patrimonio, tra archeologia ed architettura, sono considerati come pratica della conservazione (archeologia) e processo di trasformazione (architettura) e non letti come *unicum* di teoria e prassi applicata alla salvaguardia della nostra memoria e del Patrimonio.

Il lavoro di ricerca, sviluppato come attività laboratoriale, esamina con forme di collaborazione tra diverse discipline, il ruolo di alcune architetture e di parti di città ormai privi della loro funzione originaria, ma oggi inseriti in strategie di progetto tese ad un loro reinserimento in nuove reti culturali.

Le sperimentazioni si confrontano, con presupposti scientifici, in una lettura della realtà come campo esemplare per una ricostruzione avanzata delle forme dell'abitare in questi paesaggi archeologici. Considerare la città come un “manufatto” [Rossi, 1978], un prodotto costruito dalla complessità dei fatti urbani e dai suoi monumenti che si evolve e si stratifica nel tempo, richiede, perciò, di approfondire sul piano metodologico e di approccio teorico, il rapporto tra le forme dei resti e degli scavi archeologici e le fitte trame dei tessuti urbani, spesso compromessi, attraverso una nostra capacità di immaginare e costruire visioni e creazioni umane per uno sviluppo della conoscenza. Questo

rapporto esprime un punto di partenza fondamentale per la documentazione, la divulgazione, la rappresentazione e la ricostruzione degli scenari che, mediante l'impiego degli strumenti digitali, permettono di essere condotti nell'immaginare e visualizzare patrimoni nascosti ed inesplorati e restituirli in nuovi concetti di locus e di memoria collettiva. [Panciroli et al., 2018] Superata la necessità di raccontare e mostrare la costruzione in ogni sua forma, diviene però opportuno interrogarsi sul progetto di architettura e sulle modalità con cui ri-accordare le ricostruzioni narrative – effettuate a partire da fonti storico-bibliografiche – con l'uso attuale e la salvaguardia di resti e frammenti di un patrimonio materiale fragile e talvolta inaccessibile. Nei casi studio del Parco Archeologico di Metaponto (Matera) (Fig.1) e degli Ipogei Lagrasta a Canosa di Puglia, ci si interroga sui possibili caratteri distintivi del progetto di architettura in area archeologica e sulle possibili forme di fruizione aperte alla città contemporanea, integrando all'accessibilità fisica quella analogica.

Il contributo presenta interpretazioni grafiche e disegni all'interno di progetti di architettura elaborati nel sito archeologico di contesti urbani stratificati come Canosa di Puglia e a ridosso di piccoli centri rurali, come l'antica città di Metaponto con il suo parco archeologico. La conoscenza profonda di un sito archeologico comporta modifiche nell'immaginare i rapporti spaziali, nella struttura urbana e nell'organizzazione dell'insediamento stesso in rapporto ai luoghi, attraverso una risposta progettuale che si misuri con la comunità, con la città contemporanea, con nuovi usi ed economie e certamente con diverse forme di accessibilità [Di Martino, 2021].

L'apertura di un'area archeologica fruibile a tutti, ad esempio, trasforma il sito in un “luogo dell'abitare” che necessita di pratiche di analisi e di studio che solo l'approfondimento di tipo progettuale può permettere ricostruzioni sostenibili. In questo senso, il contributo esprime un metodo di ricerca e di progetto che indaga possibili soluzioni reali e significative per migliorare la qualità dell'abitare umano nella città contemporanea e soprattutto reinterpretare la memoria storica ed i suoi monumenti. L'integrazione architettonica dei siti storici, implementata dall'impiego dell'AR, ripristina il valore spaziale dei contesti architettonici che hanno subito forti alterazioni, restituendo una distinzione tra le parti che compongono l'attuale paesaggio e migliorandone la leggibilità e l'organizzazione degli spazi [Hall et al., 2021].

Il progetto riposiziona nel tempo manufatti e tracce per una nuova immaginazione collettiva, divenendo la chiave di lettura per entrare in un Parco archeologico e condurci così ad un'esperienza culturale nuova ed immersiva capace di generare forme di apprendimento e di scoperta del patrimonio per il singolo fruitore, come per una intera comunità che vive la città.

## PAESAGGI ARCHEOLOGICI A CONFRONTO. IL CASO DI METAPONTO E DI CANOSA DI PUGLIA. (\*\*\*)

I patrimoni archeologici del Parco di Metaponto e degli Ipogei Lagrasta di Canosa di Puglia, oggetto di studio del presente contributo, rappresentano un inestimabile patrimonio materiale e immateriale di grande valore storico-culturale; testimonianza della memoria architettonica, sociale ed umana delle popolazioni che un tempo li hanno abitati, sono oggetto di sperimentazioni e ricerche per la definizione di linee di intervento nell'ottica di una loro salvaguardia e valorizzazione [Cassano et al., 2019].

Per Metaponto, la città ha rappresentato per secoli il cuore pulsante della vita civile e religiosa e, ad oggi, sono presenti – seppur poco visibili – vaste aree significative della *chora*, quali il santuario urbano, parte dell'agorà, il quartiere artigianale per la produzione delle ceramiche (*Kerameikos*) ed il grande asse viario nord-sud (*Plateia III*) su cui si impostava tutto l'impianto urbano; sul ciglio dell'attuale percorso che conduce al parco archeologico, lungo la linea ferroviaria, si estende l'area del *castrum*, che, ubicata tra l'agorà e le mura orientali, probabilmente ospitava la guarnigione militare romana durante i conflitti del III secolo a.C. [Bertelli et al., 2002].

Le mura orientali, a loro volta, si estendono al di là del tracciato ferroviario, mentre l'abitato antico si sviluppava fino al moderno Borgo di Metaponto.

L'antico impianto urbano (edificato presumibilmente tra il VI e la prima metà del V secolo) (Fig.2) era diviso dalle strade principali (*plateiai*), perpendicolari tra loro, in isolati stretti ed allungati, separati dalle strade minori (*stenopoi*); purtroppo le strutture non sono conservate in maniera vistosa.



Fig. 1 - Foto. Parco Archeologico di Metaponto; in primo piano, ricostruzione rappresentativa del fronte orientale del “Tempio di Hera” voluta da Dieter Mertens, Direttore dell'Istituto Archeologico Germanico di Roma. (Fonte: ©2018|travelexperience)

Molto spesso si osservano solo i primi filari o le tracce in negativo delle fondazioni. Questo è imputabile al continuo saccheggio sofferto dalla città greca per l'assenza in zona di valido materiale da costruzione [Ciminale et al., 1999]. Per questo, i pochi e dispersi resti archeologici, non permettono al visitatore di cogliere il sito nella sua complessità e l'impiego dell'AR, soprattutto nel contesto metapontino, restituisce una percezione dei luoghi e dello spazio altrimenti non fruibili.

Il medesimo ragionamento si applica al secondo caso studio: la città di Canosa di Puglia, tra i principali centri archeologici della Puglia, che rappresenta uno dei casi più significativi di Città Storica risalente all'epoca preromana. La sua posizione geografica "nodale" la rende un luogo di passaggio e insediamento per diverse culture nel corso dei secoli. Le evidenze architettoniche e le preesistenze archeologiche segnano e disegnano lo sviluppo dell'impianto urbano della città, formando un arcipelago attualmente disconnesso di aree archeologiche recintate, negandone la fruizione [Fondazione Archeologica Canosina 2003].

Il ruolo centrale dell'esperienza di conoscenza e progetto è affidato alla realtà estesa come modalità diretta di osservazione, apprendimento ed educazione al patrimonio architettonico, altrimenti frammentato e poco riconosciuto.

L'obiettivo principale risiede nel documentare e garantire ai futuri visitatori del "Parco Archeologico e Urbano di Canosa", una definita e chiara comprensione delle evidenze archeologiche, a partire dal caso degli ipogei Lagrasta, l'architettura funeraria meglio conservata e più nota della necropoli daunia, citata dai documenti d'archivio e dalla letteratura archeologica ottocentesca. Il complesso archeologico consta di tre tombe a camera (Fig.3); interamente scavato nel banco tufaceo con orientamento NE-SW ed ingresso posto a SE, è formato da cinque gruppi di complessivamente nove ambienti che si diramano da un dromos comune dando vita ad una pianta a croce latina. Attraverso un corridoio inclinato si giunge in un tratto piano sul quale si affacciano i prospetti architettonici dei cinque gruppi; diversi vasi provenienti dalle diverse camere dell'ipogeo sono ora conservati al Louvre ed al British Museum ed in parte sono dispersi.

Conciliare la conservazione e la conoscenza del patrimonio archeologico con l'utilizzo di strumenti impiegati nel campo dell'AR è una delle sfide dell'ul-

timo decennio. Un approccio tridimensionale e diretto alla diffusione, comunicazione e fruizione dei beni culturali, archeologici e architettonici, a cui affiancare pratiche di salvaguardia e di progetto per una nuova accessibilità al patrimonio.

### METODOLOGIE E STRUMENTI IMPIEGATI PER LA MODELLAZIONE E LA FRUIZIONE DIGITALE DEI SITI ARCHEOLOGICI (\*\*\*)

Nell'ambito della conoscenza, comunicazione e valorizzazione del patrimonio archeologico, architettonico e culturale entrano in gioco la sperimentazione progettuale di percorsi di realtà aumentata che fanno riferimento ad alcuni degli obiettivi della legge sulla cosiddetta "Buona Scuola"<sup>2</sup>. Studi scientifici nazionali e internazionali hanno evidenziato aspetti importanti legati all'applicazione della realtà aumentata in contesti educativi formali, non formali e informali [Colombo, 2020]. La realtà aumentata si inserisce significativamente nella relazione tra tecnologie e apprendimento, difatti le sue applicazioni supportano l'Augmented Learning, attraverso la riproduzione di specifici scenari che vanno oltre la pura dimensione teorica. Il presente contributo vuole proporre una riflessione sulla relazione tra educazione al patrimonio e tecnologie di realtà aumentata in riferimento a una costruzione collaborativa e condivisa di conoscenze (Valeri, A. 2021).

<sup>1</sup> "Il Per Canosa di Puglia, l'attività di Ricerca condotta rientra nell'ambito del Workshop "L'antico Futuro a Canosa di Puglia. Archeologia e Progetto" (2023), con il coordinamento scientifico del Prof. Arch. Matteo Ieva (Politecnico di Bari) e co-organizzato dalla Fondazione Archeologica Canosina, Soprintendenza Belle Arti e Paesaggio BAT e Foggia, dalla ricerca europea "KAEBUP" e dall'Ordine degli Architetti P.P.C. di Barletta-Andria-Trani; per il Sito di Metaponto, le sperimentazioni sono state avviate nel CdS in Architettura, "Laboratorio di Progettazione 5: Architettura ed Eredità del Costruito" A.A. 2022-2023 sul tema "Generare musei e parchi archeologici in Basilicata" responsabile Prof. Arch. Antonio Conte, con il coinvolgimento della Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici (SSBA), direttrice Prof.ssa Maria Chiara Monaco, dello stesso Dipartimento DICEM, e del Dott. Vincenzo Cracolici, Direttore del Museo archeologico nazionale di Metaponto con il relativo Parco Archeologico ed il Tempio delle Tavole Palatine, necropoli di Crucinia Metaponto.

<sup>2</sup> "Il potenziamento delle competenze nella pratica e nella cultura musicali, nell'arte e nella storia dell'arte, nel cinema, nelle tecniche e nei media di produzione e di diffusione delle immagini e dei suoni, anche mediante il coinvolgimento dei musei e degli altri istituti pubblici e privati operanti in tali settori; sviluppo delle competenze in materia di cittadinanza attiva e democratica attraverso la valorizzazione dell'educazione interculturale; alfabetizzazione all'arte, alle tecniche e ai media di produzione e diffusione delle immagini; sviluppo delle competenze digitali degli studenti; valorizzazione della scuola intesa come comunità attiva, aperta al territorio e in grado di sviluppare e aumentare l'interazione con le famiglie e con la comunità locale" (Legge 107/2015, art. 1, comma 7).

Nella presente ricerca sono stati adoperati diversi dispositivi software, riguardanti l'ottenimento di prodotti in realtà aumentata (AR) e mista (MR), viste 360° e rendering video.

Le sperimentazioni di progetto si inseriscono nell'ampio scenario della realtà estesa (XR), una realtà che abbraccia congiuntamente mondi virtuali

e mondi reali, dove la tecnologia diventa strumento per la comprensione e racconto del progetto stesso. Le esperienze di realtà virtuale (VR), realtà aumentata (AR) e realtà mista (MR), l'esplorazione di tali tecniche nel Parco Archeologico di Metaponto e nel sito degli Ipogei Lagrasta si rivela un viaggio avvincente, dove ricostruzioni grafiche e oleografiche

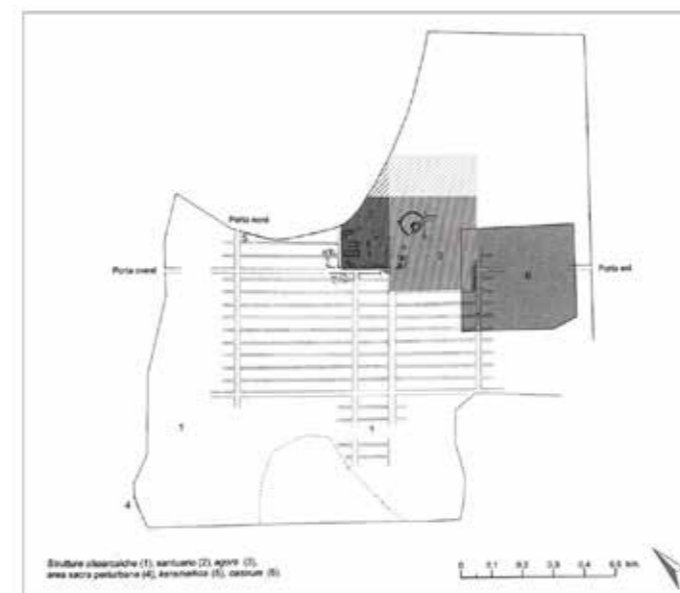


Fig. 2 - Collage. A sinistra: Cartografia storica rappresentativa dell'antico impianto della città di Metaponto (Fonte: ©2002/Bertelli & Roubis); a destra: foto dei resti archeologici presenti nell'area dell'agorà (Fonte: sito web del Parco Archeologico di Metaponto).

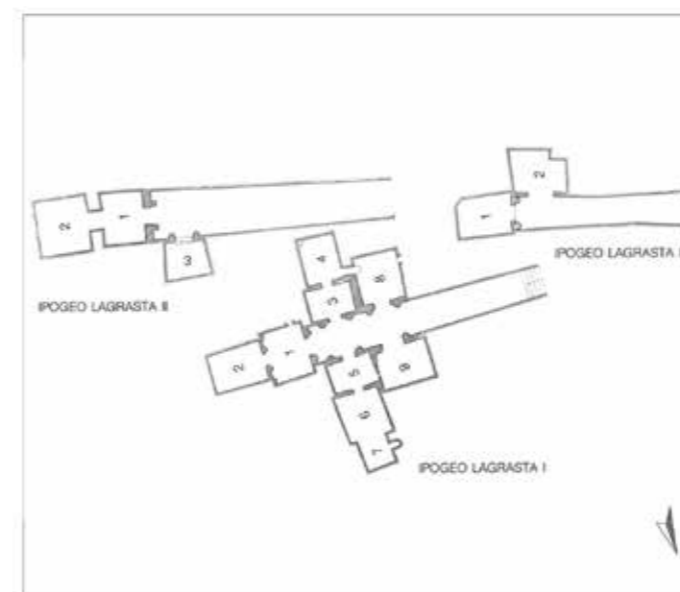


Fig. 3 - Collage. A sinistra: planimetria storica rappresentativa del complesso degli ipogei Lagrasta di Canosa di Puglia (Fonte: ©2018/Fondazione Archeologica Canosina); a destra: foto dell'ingresso (dromos) all'ipogeo Lagrasta I. 2023

(ottenute attraverso l'effetto wireframe assegnato al materiale che compone le parti mancanti del manufatto), integrano il patrimonio restituendo visioni d'insieme. Una delle prime tecniche di rappresentazione utilizzata per l'avvio delle progettazioni, è stata quella dell'utilizzo del software Archicad, programma BIM di architettura che permette di realizzare elaborati in 2D e 3D. Questo approccio offre una visione tridimensionale preliminare del progetto in relazione al contesto circostante, con un accurato rapporto tra rilievo sul campo e ridisegno tramite software. La modellazione ottenuta in ambiente Archicad riguarda prevalentemente gli elementi di progetto ex novo. Per quanto riguarda invece gli elementi esistenti è stato necessario integrare tecnologie structure from motion. Le due modellazioni sono state riposizionate in ambiente Archicad e conseguentemente creata l'ambientazione finale tra il contesto reale esistente e la modellazione della nuova progettazione.

Dopo aver realizzato il modello 3D, esso è stato importato nel software Twinmotion, di casa Epic Game, software in grado di trasformare i modelli BIM o CAD in esperienze di immersione 3D in tempo reale. La cura nella scelta dei nuovi materiali di progetto, la dettagliata mappatura dell'area e l'attenta definizione dell'illuminazione hanno contribuito a plasmare un ambiente visivo coerente (Figg.4-5). Una volta ultimato il modello, l'utilizzo del ray-tracing si rivela cruciale per estrapolare le immagini fotorealistiche più significative per la comprensione ed il racconto dei progetti realizzati. L'utilizzo di questo software ci ha permesso inoltre di consolidare l'approccio innovativo con la creazione di un video 360° che, grazie all'integrazione e utilizzo di visori (VR), crea un ambiente immersivo simulato che permette agli utenti di interagire con un mondo digitale tridimensionale in scala 1:1. Come restituire un'esperienza multisensoriale? Un senso di presenza pervade l'osservatore, anche se fisicamente distante, nella seconda parte del processo di digitalizzazione del progetto dove sono state impiegate tecniche (AR).

A differenza della realtà virtuale che crea un ambiente completamente virtuale, questa sperimentazione mantiene la connessione con l'ambiente circostante integrando elementi virtuali in modo interattivo con la realtà fisica.

Il progetto si avvale della tecnologia degli ologrammi nell'area archeologica di Metaponto per permettere al visitatore di interagire con le antiche

architetture del passato, senza andare ad intaccare la realtà con altre installazioni fisiche del tutto anacronistiche. Gli ologrammi sono immagini tridimensionali create attraverso la registrazione di pattern di luce interferente, che consentono di percepire oggetti virtuali come se fossero presenti nello spazio fisico. Per implementare questa tecnologia in loco, è stato necessario utilizzare gli "HoloLens" di Microsoft, un dispositivo olografico ergonomico completo senza cavi completamente indipendente che consente di rapportarsi con contenuti digitali ed ologrammi visualizzati nel mondo reale che circonda chi li indossa. Gli hololens sono equipaggiati con sensori e telecamere che ci hanno permesso di proiettare, recandoci nell'area di progetto, i volumi virtuali precedentemente modellati direttamente sui resti archeologici del Parco Archeologico di Metaponto e nel sito degli Ipogei Lagrasta. La loro peculiarità è di rilevare la profondità e la posizione degli oggetti reali e di comprendere la posizione e l'orientamento dell'utente nello spazio, permettendo agli oggetti virtuali di rimanere ancorati al mondo reale e nel punto in cui sono stati posizionati, mantenendo la coerenza spaziale e prospettica mentre il visitatore si muove all'interno del mondo reale.

Attraverso la ricostruzione virtuale 3D si può sovrapporre il modello tridimensionale alla vista dello stato attuale e il risultato ottenuto contribuisce ad una migliore comprensione del sito archeologico (Fig.6).

Nel caso della realtà aumentata, grazie all'uso di uno strumento dotato di videocamera (smartphone, tablet, visore, etc.) si possono aggiungere informazioni e contenuti "virtuali" alla scena reale che si trova di fronte ai nostri occhi.

L'output multimediali che sono stati realizzati offrono un'esperienza interattiva e immersiva nei preziosi contesti del Parco Archeologico di Metaponto e nel sito degli Ipogei Lagrasta.

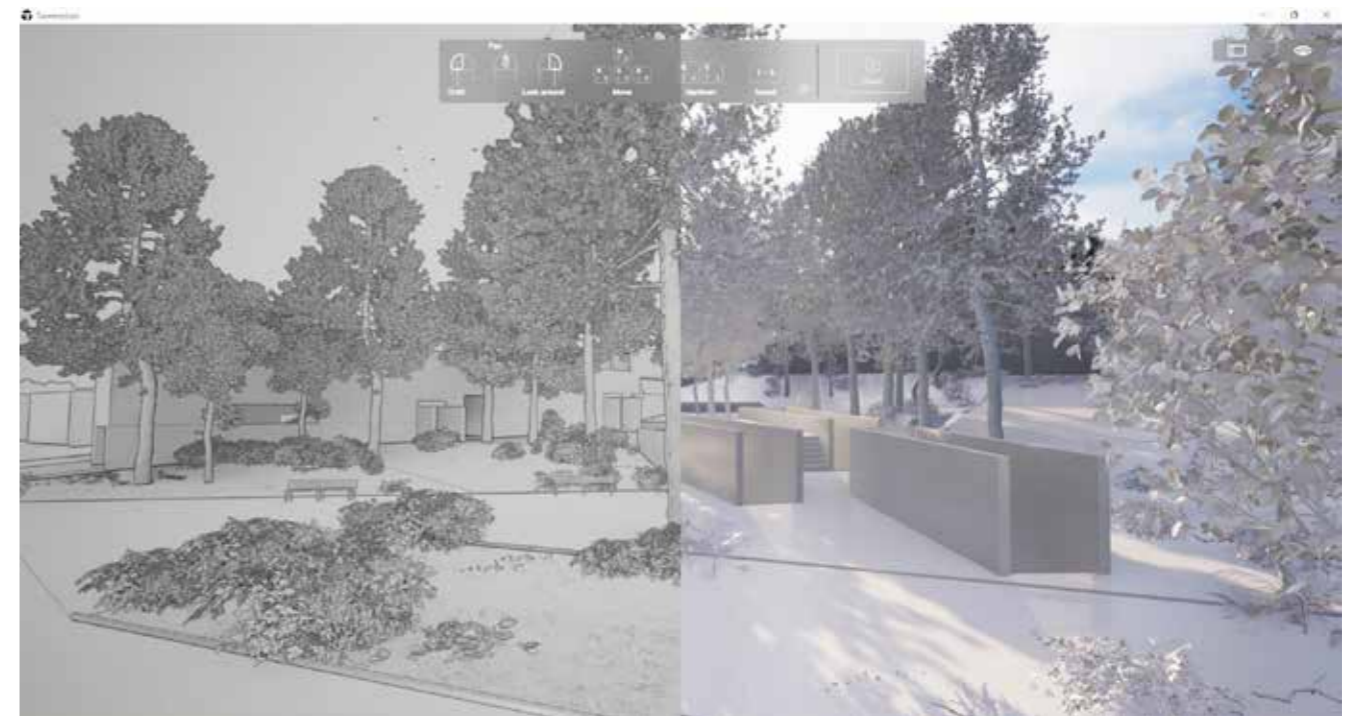


Fig. 4 - Collage. Le immagini riportano le diverse applicazioni prodotte in ambiente Twinmotion, preliminari per la disposizione superficiale della texture materica. A sinistra dell'immagine, vi è la prova del Bump texture in B/N, materico applicato alle superfici tridimensionali a seconda dell'oggetto, mentre a destra, vi è lo studio solare condotto sull'ambiente 3D. Elaborazione originale. 2023.



Fig. 5 - Collage. Ricostruzioni olografiche digitali del "Tempio di Hera" nel Parco Archeologico di Metaponto. Immagini notturne realizzate all'interno dell'ambiente software Twinmotion seguendo la tecnica del ray tracing. Le immagini sono state prodotte all'interno del "Laboratorio di progettazione 5: Architettura ed Eredità del Costruito" (st. Gianluigi De Stradis, Giada Vignola). 2023.

## SVILUPPI FUTURI ED APPLICATIVI PER LA SALVAGUARDIA DEI PATRIMONI ARCHITETTONICI ED ARCHEOLOGICI

L'obiettivo della ricerca consiste nel trasmettere una nuova modalità di fruizione proposta per il Parco Archeologico di Metaponto e per il sito degli Ipogei Lagrasta, fondata sull'interazione tra luogo e fruitore, mediante il concetto della *Mixed Reality*. Il progetto di architettura acquisisce maggiore forza grazie all'utilizzo sistematico di alcune procedure afferenti alla tecnologia dell'*Augmented Reality*; attraverso la sovrapposizione di alcuni elementi architettonici originari, ricostruiti virtualmente e collocati nelle reali ambientazioni, si restituisce un prodotto capace di essere trasversale - non esclusivamente nel campo scientifico - aumentando le possibilità percettive degli utenti, ad ogni età e grado di istruzione. "[...] è il superamento di un modello elitario che ha trovato applicazione e vita in diverse esperienze 'phygital', in cui la mediazione tra spazio fisico e digitale arricchisce di senso di esperienza della fruizione usando AR e VR"<sup>3</sup>

Le esperienze digitali - soprattutto durante la crisi pandemica - hanno subito un'accelerazione tale da lasciare in secondo piano, molto spesso, l'esperienza diretta di fruizione e contatto con il patrimonio; seppur impiegati nella riproduzione di contenuti capaci di esprimere un "contatto" con il passato, bisogna necessariamente soffermarsi sul ruolo della "scoperta" e del "contatto" tattile con il patrimonio materiale.

La dimensione immersiva dei patrimoni, modellati anche negli spazi della quotidianità, deve sollecitare la curiosità del visitatore che, essendo fisicamente nel sito, percepisce nella totalità dei sensi l'esperienza immersiva di scoperta e di contatto con il patrimonio [La Trofa, 2018].

Le tecnologie XR rappresentano una delle più grandi tematiche in via di sviluppo, che si prestano alla creazione di offerte sempre più inclusive con l'alto obiettivo di superare le barriere culturali, strutturando però una web strategy opportuna per ogni contesto.

All'interno del contributo non è stato fatto alcun riferimento all'impiego dell'AI come generatore di immagini a partire da descrizioni di tipo testuale; si ritiene difatti che in tali contesti, tali strumenti esprimano oggi un linguaggio informatico (per informatici), poco vicino alla complessità delle stratificazioni millenarie di questi siti storici di interesse.

L'immagine in chiusura (Fig. 7) estrapolata mediante descrizione testuale in AI dei siti di studio, in nessuna delle tre configurazioni accenna a visioni o immagini che rappresentano "l'unicità" di questi patrimoni; a dimostrazione di quanto, gli strumenti digitali siano un valido supporto ad un evidente e prioritario approfondimento teorico-pratico diretto, capace di estrarre, documentare per poi rappresentare in maniera affidabile le memorie e le tracce del nostro passato.

<sup>3</sup> Calveri Claudio, *Realtà virtuale e cultura: comportamenti, sentimenti e prospettive nell'Italia post pandemica*. In Valeri A., (2021) *Next generation culture. Tecnologie digitali e linguaggi immersivi per nuovi pubblici della cultura*. Marsilio Editori, Venezia. pp. 65-80



Fig. 6: Collage. A sinistra: Immagine con il posizionamento delle ricostruzioni tridimensionali degli architravi timpani e colonne, riprodotte a partire dalla documentazione archivistica. A destra: Immagine notturna con la ricostruzione olografica digitale del dromos all'ipogeo Lagrasta. È realizzata all'interno dell'ambiente software Twinmotion seguendo la tecnica del ray tracing. Le immagini sono state prodotte all'interno del Workshop di progettazione "L'antico Futuro a Canosa di Puglia. Archeologia e Progetto" (gruppo di lavoro composto da Roberto Pedone, Rossella Laera, Emanuela Borsci, Ali Yaser Jafari, Gianluigi De Stradis e Giada Vignola). 2023.



Fig. 7: Collage di immagini. Prodotte attraverso l'applicativo DALL-E3 di Chat GPT-4, attraverso la descrizione testuale dell'idea. L'immagine, nonostante la precisione descrittiva dei soggetti non restituisce l'esatta configurazione dimensionale e formale del "Tempio greco di Hera" a Metaponto. Elaborazione originale. 2024.

## BIBLIOGRAFIA

Bertelli, G., Roubis, D., (2002). *Torre di Mare I. Ricerche archeologiche nell'insediamento medievale di Metaponto (1995-1999)*. Mario Adda Editore, Bari.

Cassano, R., Chelotti, M., Mastrocinque, G. (2019). *Paesaggi urbani della Puglia in età romana. Dalla società indigena alle comunità tardo antiche*. EdiPuglia Editore, Bari.

Ciminale, M., Ricchetti, E., (1999) Non-destructive Exploration in the Archaeological Park of Metaponto (Southern Italy). In *Archaeological Prospection Archaeol. Prospect.* 6, 1999. Wiley, Online Library.

Colombo M.E. (2020), *Musei e Cultura Digitale. Fra narrativa, pratiche e testimonianze*. Editrice Bibliografica, San Giuliano Milanese Milano.

Di Martino B. (2021), *Nel centro del quadro. Per una teoria dell'arte immersiva dal mito della caverna alla VR*. Aesthetica Edizioni, Sesto San Giovanni.

Fondazione Archeologica Canosina. (2003). *Canosa: Ricerche storiche*. Schena Editore, Fasano.

Hall et al. (2001), The Visitor as Virtual Archaeologist: Explorations in Mixed Reality Technology to Enhance Educational and Social Interaction in the Museum, in *VAST '01: Proceedings of the 2001 conference on Virtual reality, archaeology, and cultural heritage* pp. 91–96.

La Trofa, F. (2018). *#VR Developer. Il creatore di mondi in realtà virtuale ed aumentata*. Franco Angeli. Milano

Panciroli, C., & Macaudo, A. (2018). Educazione al patrimonio e realtà aumentata: quali prospettive. In *Giornale Italiano della Ricerca Educativa*. Pensa MultiMedia Editore, Lecce.

Valeri, A. (2021). *Next generation culture. Tecnologie digitali e linguaggi immersivi per nuovi pubblici della cultura*. Marsilio Editore, Venezia.

Rossi, A. (2011). *L'Architettura della Città*. Quodlibet Abitare, Macerata.

Yourcenar, M. (2014). *Memorie di Adriano*. Einaudi Editore, Torino.



# DAL BUILDING INFORMATION MODELING AL BETTER INFORMATION MANAGEMENT/METHODOLOGY

## FROM BUILDING INFORMATION MODELING TO BETTER INFORMATION MANAGEMENT/METHODOLOGY

AUTHOR

**Tommaso Emler**

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

EMAIL

[tommaso.empler@uniroma1.it](mailto:tommaso.empler@uniroma1.it)

## KEYWORDS

BUILDING INFORMATION MODELING  
BETTER INFORMATION  
MANAGEMENT/METHODOLOGY  
COMMON DATA ENVIRONMENT  
3D MODELING  
INTERNET OF THINGS

## ABSTRACT

Il Better Information Management/Methodology può essere visto come un'evoluzione del Building Information Modeling e delle sue molteplici declinazioni. Centrale nel processo è il Common Data Environment (CDE), considerato come un repository centrale destinato alla raccolta di tutte le informazioni relative a un progetto.

Il CDE è utilizzato per condividere informazioni tra tutti gli stakeholder che intervengono nel progetto, assicurando che queste siano sicure e facilmente accessibili. Questo sistema centralizzato facilita la collaborazione, la trasparenza e l'efficienza nel processo di gestione del progetto, garantendo che tutte le parti coinvolte abbiano accesso alle informazioni aggiornate e rilevanti per le loro necessità. È il luogo dove risiedono tutte le informazioni con la caratteristica di essere aggiornabili, distribuibili, interoperabili e gestibili in tempo reale. Come evoluzione della procedura possono essere previste le IoT (Internet of Things).

*The Better Information Management/Methodology can be seen as an evolution of Building Information Modeling and its various applications.*

*At the core of this process lies a Common Data Environment (CDE), regarded as a central repository for collecting all information related to a project.*

*A CDE is used to share information among all stakeholders involved in the project, ensuring that it is secure and easily accessible. This centralized system facilitates collaboration, transparency, and efficiency in project management, guaranteeing that all parties have access to updated and relevant information for their needs. It serves as the hub where all information resides, characterized by its ability to be updated, distributed, interoperable, and managed in real time. As an evolution of this procedure Internet of Things (IoT) may also be incorporated.*

## INTRODUZIONE

Vengono fatte risalire al 1974 le prime riflessioni, che possono essere considerate antesignane, sulle procedure collegate al Building Information Modeling, quando C. Eastman, con altri ricercatori dell'Università di Pittsburgh da origine ad un documento intitolato "An outline of the building Description System" [Tomasella et al., 2017].

La definizione di Building Information Modeling, dai cui l'acronimo BIM, fornita dallo stesso Eastman circa 35 anni dopo, è: "una rappresentazione digitale del processo costruttivo che facilita lo scambio e l'interoperabilità delle informazioni in formato digitale" [Eastman, 2008].

Entrando nello specifico, ogni termine assume un preciso significato:

- Building = la scala di riferimento è quella dell'edificio;
- Information = si riferisce a dati contenuti in archivi digitali estesi e non solo grafici;
- Modeling = i modelli digitali sono lo strumento dello scambio informativo.

La possibilità di gestire "dati informati" collegati a "modelli tridimensionali", a partire dal 2008-2010, vede l'applicazione dei principi sottesi alla procedura BIM anche ad altri settori, con "n" permutazioni della metodologia.

Negli ultimi anni è maturata la consapevolezza, nel panorama internazionale, che l'acronimo BIM possa essere aggiornato in Better Information Management/Methodology, con l'attribuzione dei seguenti significati ai diversi termini:

- Better = qualificazione della procedura come "migliore";
- Information = dati contenuti in archivi digitali estesi e non solo grafici;
- Management/Methodology = gestione o metodologia.
- Better Information Management/Methodology diviene così, secondo una traduzione letterale, migliore gestione/metodologia dei dati informati.

L'attenzione viene spostata dalla "modellazione parametrica", a cui molti hanno fatto per anni riferimento nel BIM, agli ambienti di condivisione dei dati ACDat (Ambiente di Condivisione dei Dati) o CDE (Common Data Environment), che possono essere di natura eterogenea, visto che provengono da ambiti disciplinari tra loro anche molto diversi, con la partecipazione di competenze sempre più differenziate, attribuendo

un'importanza sempre maggiore alla modalità d'intercambio e interoperabilità attribuita al formato IFC.

Le considerazioni sul Better Information Management/Methodology sono contestualizzate ad oggetti, edifici e spazi che appartengono al patrimonio edilizio costruito. La delimitazione del campo si rende necessaria, vista anche la direzione che sta prendendo il BIM 2.0, fortemente orientato all'AEC (Architecture Engineering Construction), per migliorare le prestazioni, aumentare l'efficienza della progettazione, promuovere obiettivi di sostenibilità, consentire una collaborazione fluida e collegare i modelli ai sistemi di fabbricazione digitale.

## STATO DELL'ARTE

Il Building Information Modeling, nato per il settore delle costruzioni, è stato, nel tempo, esteso ad altri settori, con ulteriori derivazioni, tra le quali possono essere segnalate:

- il GeoBIM, come tecnologia che consente agli utenti di integrare i dati geografici (GIS) con i dati BIM. Ciò consente una pianificazione, progettazione, costruzione e gestione più efficiente e accurata di edifici e infrastrutture;
- il Landscape Information Modeling (LIM), dove l'Information Modeling viene indirizzato al campo del paesaggio;
- l'Heritage Building Information Modeling (HBIM), come applicazione delle procedure BIM al patrimonio storico-architettonico esistente;
- l'Assessment and Reconstruction Information Modeling (ARIM), pensato come una integrazione delle procedure BIM applicate al patrimonio costruito, oggetto di un percorso di ricostruzione a seguito di calamità naturali.

Vi è anche una duplicazione dell'acronimo BIM in Building Information Management [Kocakaya et al. 2019] [McArthur, 2015], che concentra l'attenzione sull'aspetto della gestione del ciclo di vita di un edificio.

L'integrazione del Geographic Information System (GIS) e del Building Information Modeling (BIM), nota anche come GeoBIM, mostra applicazioni in diversi settori legati alla trasformazione urbana, coprendo diverse scale applicative, che vanno dalla dimensione di un quartiere a quello di un complesso livello edilizio. Questo approccio può fornire numerose possibilità per la valutazione degli indicatori urbani, implicando anche argomentazioni tecniche e sociali [Della Scala et al., 2023].

Una delle letture del Landscape Information Modeling (LIM) [Borkowski et al., 2021] si basa sulla considerazione che i dati sullo spazio urbano possono essere ottenuti da sistemi GIS, mentre i nuovi modelli di edifici vengono contemporaneamente sviluppati con procedura BIM. Questo comporta una crescente necessità di integrazione dei dati provenienti da entrambe le aree per l'uso di dati BIM e GIS condivisi nella progettazione del paesaggio. La crescente diffusione della tecnologia BIM non solo spinge i progettisti a sviluppare modelli BIM di edifici ma anche altri oggetti di gestione del territorio, compresi quelli di tipo infrastrutturale. L'integrazione di BIM e LIM, supportata dall'espansione del modello IFC e dall'uso di dati GIS, rappresenta un significativo avanzamento nella progettazione e gestione del paesaggio urbano. Questo approccio offre strumenti avanzati per la creazione di modelli dettagliati per una pianificazione più efficace, contribuendo alla creazione di un ambiente costruito più informato e sostenibile.

Un'altra lettura del LIM [Zajíčková, et al., 2013] va nella direzione di una evoluzione del BIM applicata alla progettazione paesaggistica e di memorizzazione di informazioni sugli oggetti specifici del paesaggio, quali: le condotte di irrigazione, le aree assegnate a specifici impianti, l'elenco di diversi impianti coinvolti nei progetti paesaggistici. In pratica vengono memorizzati e gestiti dati dettagliati utili agli architetti del paesaggio per sviluppare e organizzare informazioni accurate in maniera efficace.

Il concetto di Historical (o Heritage) Building Information Modeling (HBIM) è introdotto per la prima volta nel 2009 con un articolo scientifico del Professor Maurice Murphy del Dublin Institute of Technology [Murphy et al., 2009]. L'HBIM si configura come una metodologia che utilizza le tecniche di BIM per la documentazione, conservazione e gestione dei patrimoni storici e architettonici.

Questa tecnologia permette di creare modelli digitali dettagliati e accurati degli edifici storici, integrando dati geometrici e informazioni relative alla storia, ai materiali e alle tecniche costruttive utilizzate. L'introduzione dell'HBIM rappresenta un'importante innovazione nel campo del restauro e della gestione dei beni culturali, poiché consente di conservare in modo digitale le informazioni essenziali sugli edifici storici, facilitando così la loro manutenzione, restauro e valorizzazione.

L'ARIM (Architectural Restoration Information Modeling) [Empler, 2020] è una procedura BIM mi-

rata alla creazione e gestione di "modelli informati" a seguito di calamità naturali, come, ad esempio, il terremoto. Questi modelli integrano dati dettagliati relativi agli elementi costituenti l'organismo resistente di un edificio, comprendendo l'identificazione dei materiali, lo stato di degrado, le proprietà meccaniche, la conoscenza del sottosuolo e delle strutture di fondazione, la geometria degli elementi strutturali, le tecniche costruttive utilizzate e i fenomeni di dissesto e degrado osservati. Attraverso l'ARIM viene sviluppata un'interfaccia che funge sia da sistema informativo che da strumento di rappresentazione dei dati raccolti. Questo sistema garantisce la conservazione, la consultazione e l'aggiornamento continuo delle informazioni nel tempo. In questo modo, l'ARIM non solo facilita la gestione e la documentazione dettagliata delle strutture, ma supporta anche la pianificazione e l'implementazione di interventi di restauro basati su dati accurati e aggiornati.

Il Building Information Management si occupa della gestione del ciclo di vita dell'edificio, con collegamenti diretti tra la componentistica utilizzata ed il collegamento con le industrie che le hanno realizzate.

## METODOLOGIA

Il BIM con l'accezione di Better Information Management/Methodology (per comodità espositiva abbreviata in questa sede in BeIM, per non confonderla con Building Information Modeling,) viene portato ad un livello superiore, dove diventa centrale lo studio e la visione di una "migliore gestione delle informazioni", che costituiscono la parte centrale della procedura.

Centrale in questo processo è il Common Data Environment (CDE), che può essere considerato come un repository centrale destinato alla raccolta di tutte le informazioni relative a un progetto. Il CDE è utilizzato per condividere informazioni tra tutti gli stakeholder che intervengono nel progetto, assicurando che queste siano sicure e facilmente accessibili.

Questo sistema centralizzato facilita la collaborazione, la trasparenza e l'efficienza nel processo di gestione del progetto, garantendo che tutte le parti coinvolte abbiano accesso alle informazioni aggiornate e rilevanti per le loro necessità. È il luogo dove risiedono tutte le informazioni con la caratteristica di essere aggiornabili, distribuibili,



interoperabili e gestibili in tempo reale. Esistono diverse piattaforme che consentono la gestione dei dati secondo i requisiti sopra esposti, in questa sede interessa analizzare la tipologia e qualità del dato che deve essere inserito nel CDE. Per esplicitare la struttura di un CDE si fa riferimento ad una procedura BeIM, quale caso studio, applicata ad un contesto archeologico, in cui rifluiscono i dati appartenenti a diversi settori disciplinari, tra i quali:

- archeologia;
- storia;
- archivistica;
- biblioteconomia;
- rilevamento;
- analisi dei materiali;
- tecnologia dell'architettura;
- restauro;
- modellazione 3D.

Che a loro volta attivano una serie di azioni:

- l'archeologia indaga e fornisce dati sugli scavi effettuati e sui resti presenti;
- la storia analizza le stratificazioni temporali che hanno interessato il luogo, collegandole alle diverse vicende storiche;
- l'archivistica consente l'analisi dei documenti che nel tempo sono stati raccolti e conservati sull'area d'interesse;
- la biblioteconomia permette di individuare le relazioni e gli scritti che nel tempo sono stati prodotti sull'oggetto in esame;
- il rilevamento consente di acquisire la forma geometrica degli elementi ancora presenti sul posto;
- l'analisi dei materiali permette di conoscere le caratteristiche e la qualità dei materiali presenti;
- la tecnologia dell'architettura consente di individuare e riconoscere la tecnica costruttiva e la tecnologia impiegata;
- il restauro permette di individuare il livello di degrado dell'oggetto, per formulare gli interventi di conservazione e/o restauro;
- la modellazione 3D consente di ricostruire l'oggetto in uno spazio tridimensionale virtuale, associando i singoli dati alle diverse componenti morfologiche, anche utilizzando una modellazione parametrica.

Alcune azioni producono dati analogici, mentre altre si presentano sotto forma di dati digitali. Per la gestione nel CDE anche i primi devono essere trasformati in digitali. Seguendo la struttura in Fig. 1 viene proposta una esemplificazione per ciascuna delle componenti presenti. I dati riferiti alla "modellazione" sono organizzati come "modelli 2D" e come "modelli 3D". Nel primo caso, sempre facendo riferimento ad un contesto archeologico, i "modelli 2D" sono riferiti ai diversi strati di uno scavo archeologico (Fig. 2). I risultati, generalmente, utilizzano la forma di rappresentazione della pianta, prospetto e sezione, per avere un controllo metrico/dimensionale, e sono presentati in forma vettoriale.

I "modelli 3D" possono essere di diversa natura, che vanno dagli esiti del rilevamento strumentale fino allo sviluppo tridimensionale; rientrano tra questi:

- acquisizioni mediante scansioni laser e fotogrammetria (Fig. 3), con la restituzione di nuvole di punti tridimensionali integrate, ad esempio nel formato di interscambio .e57;
- modellazioni tridimensionali con l'elaborazione delle nuvole di punti in superfici (mesh) (Fig. 4), o modellazioni solide, utilizzando, ad esempio, il formato di interscambio .obj;
- modellazione parametrica, con la possibilità di attribuire caratteristiche ai singoli oggetti o componenti (Fig. 5, 6), usando, per questo scopo, il formato di interscambio .IFC.

COMMON DATA ENVIRONMENT

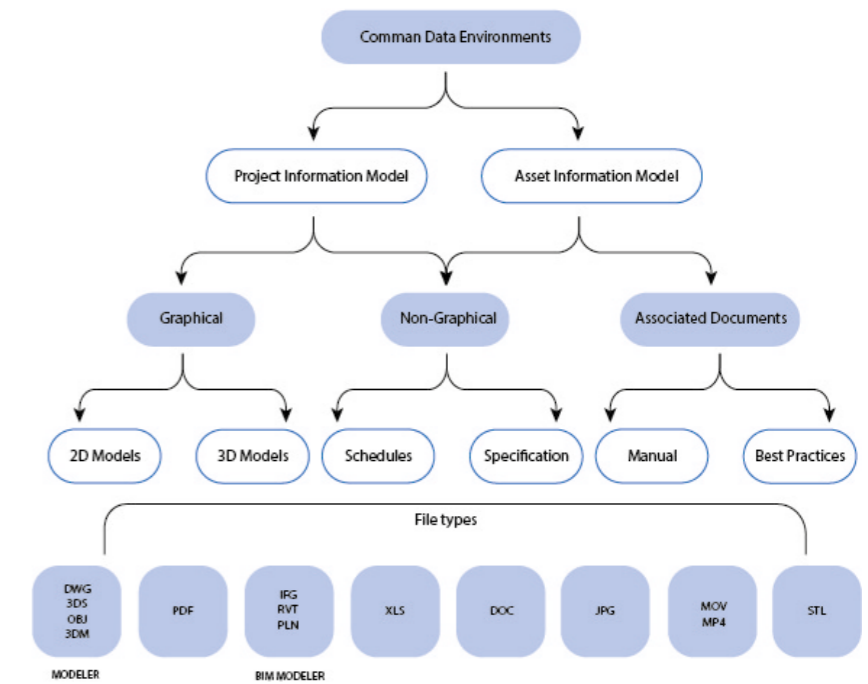


Fig. 1 - Struttura dei dati in un Common Data Environment.



Fig. 2 - Scavo archeologico, con indicati le stratificazioni di scavo, formato .dxf. Grotta di Battifratte (RI).



Fig. 3 - Modello 3D in nuvola di punti, formato e.57.

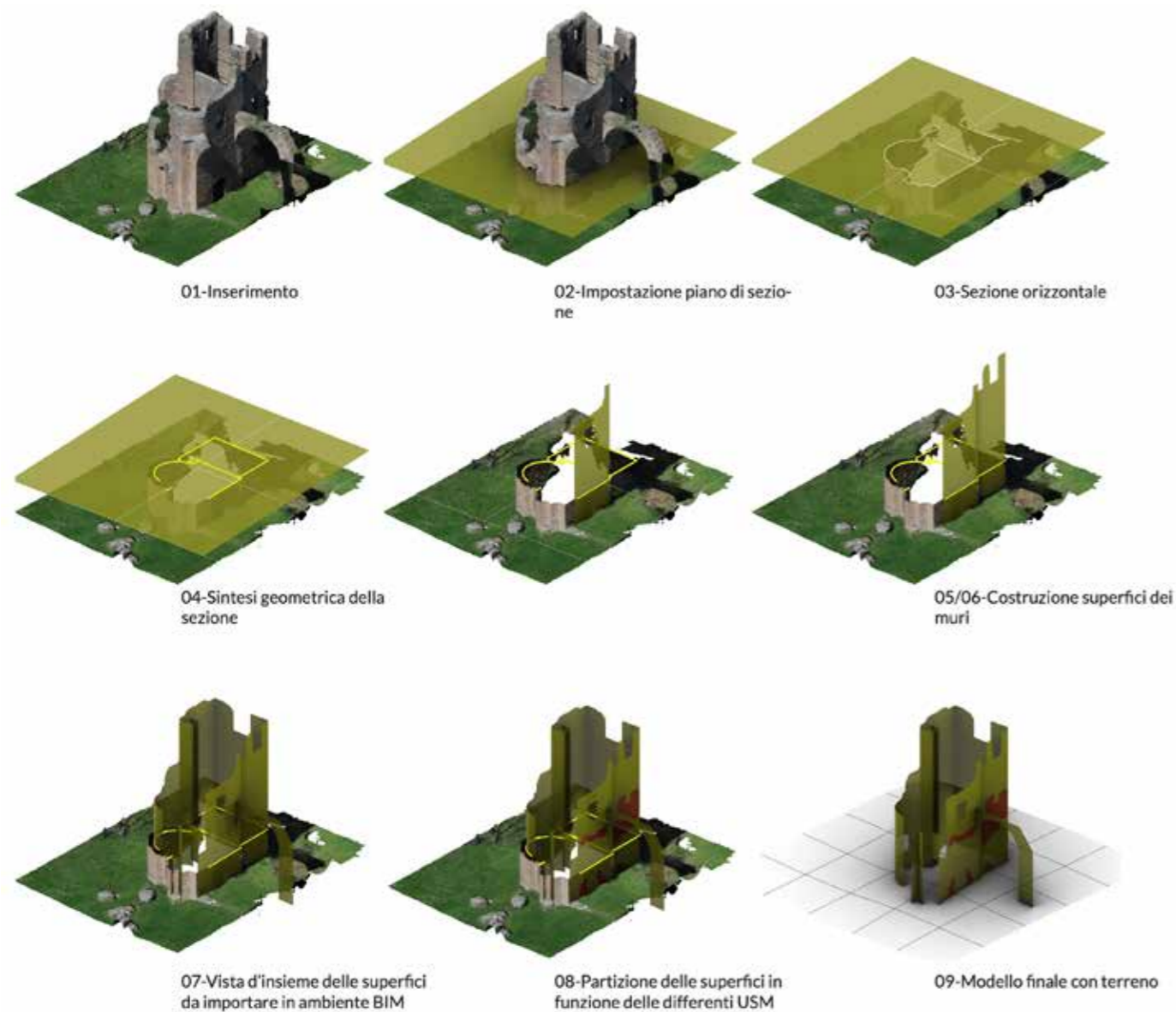


Fig. 4 - Modello 3D in mesh, formato .obj.

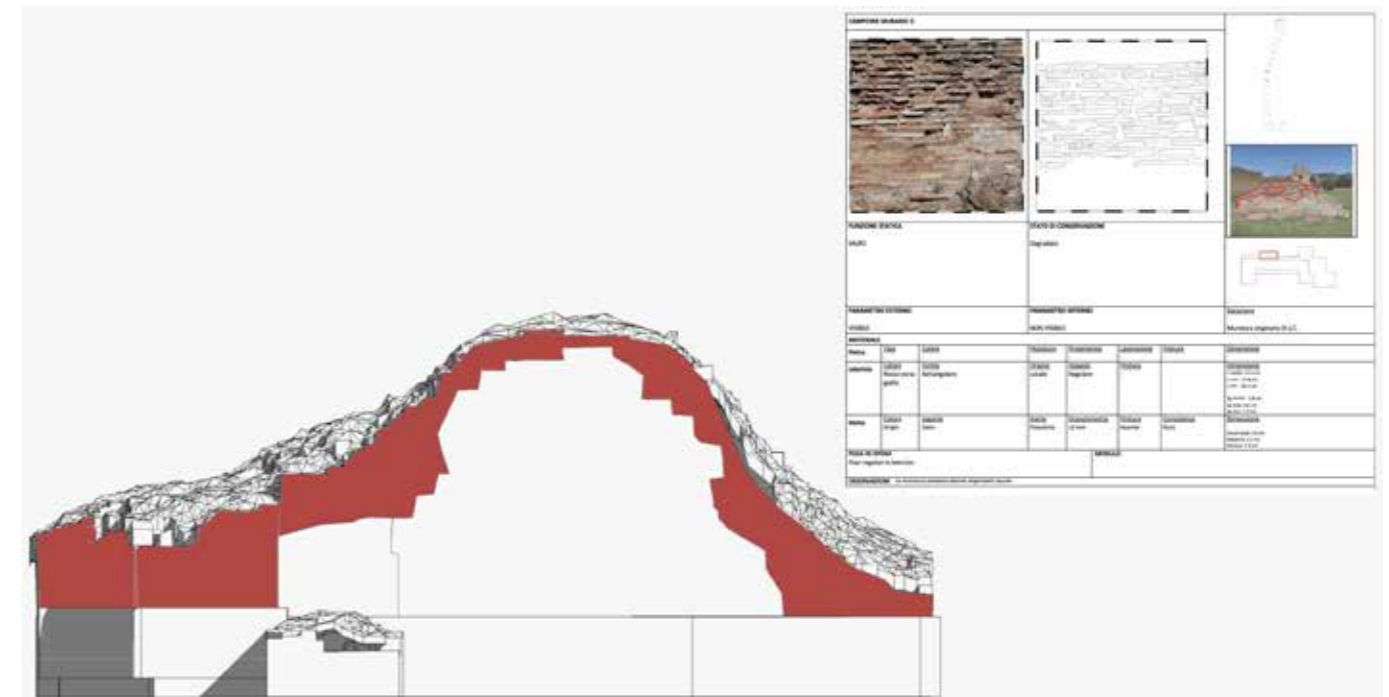

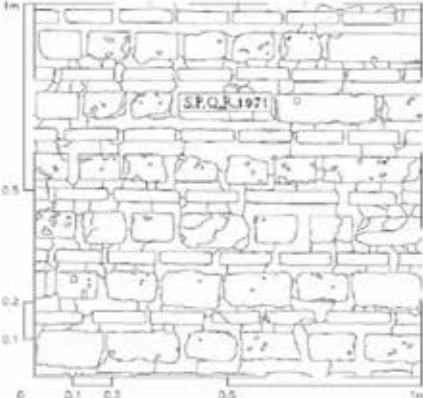



Fig. 5 - Modello parametrico con la composizione dei materiali, formato .ifc.



Fig. 6 - Modello parametrico con mappatura del degrado, formato .ifc.

CAMPIONE MURARIO 1							
Inquadramento	Funzione statica	Stato di conservazione	Paramento esterno	Paramento interno	Datazione		
	portante	buono	opera mista	non rilevato	1971		
RILIEVO							
							
MATERIALI							
Pietra	Tipo	Colorazione	Pezzatura	Provenienza	Lavorazione	Finitura	Dimensioni
	tuffo	grigio, giallo, rosso	vana	locale (fornaci lungo la via Appia antica)	taglio grezzo in blocchi squadrati	irregolare e porosa	(10 x 15) cm (6,5 x 10) cm (7,9 x 2 5,8) cm
Laterizio	Colore	Forma	Provenienza	Impasto	Lavorazione	Finitura	Dimensioni
	rosa, giallo	rettangolare	locale (fornaci lungo la via Appia antica)	argilla	taglio in blocchi	liscia	(3,4 x 13) cm (3,4 x 12,2) cm (3,4 x 24) cm
Malta	Colore	Legante	Inerte	Granulometria	Consistenza	Finitura	Dimensioni
	grigio	idrossido di calcio	sabbia, pozzolana	fine	omogenea	liscia	spessore del giunto: 3cm
Posa in opera		opera mista con filari di laterizio alternati a strati di tufo					
Osservazioni		il campione murario presenta una diffusa colonizzazione biologica con la presenza di vegetazione nella parte superiore.					



USM 1  
USM 2

<https://1drv.ms/x/s!Ah9PFLiCoui1XBZ614i9dz?e=>

Fig. 7 - Unità Stratigrafica Muraria, formato xls.

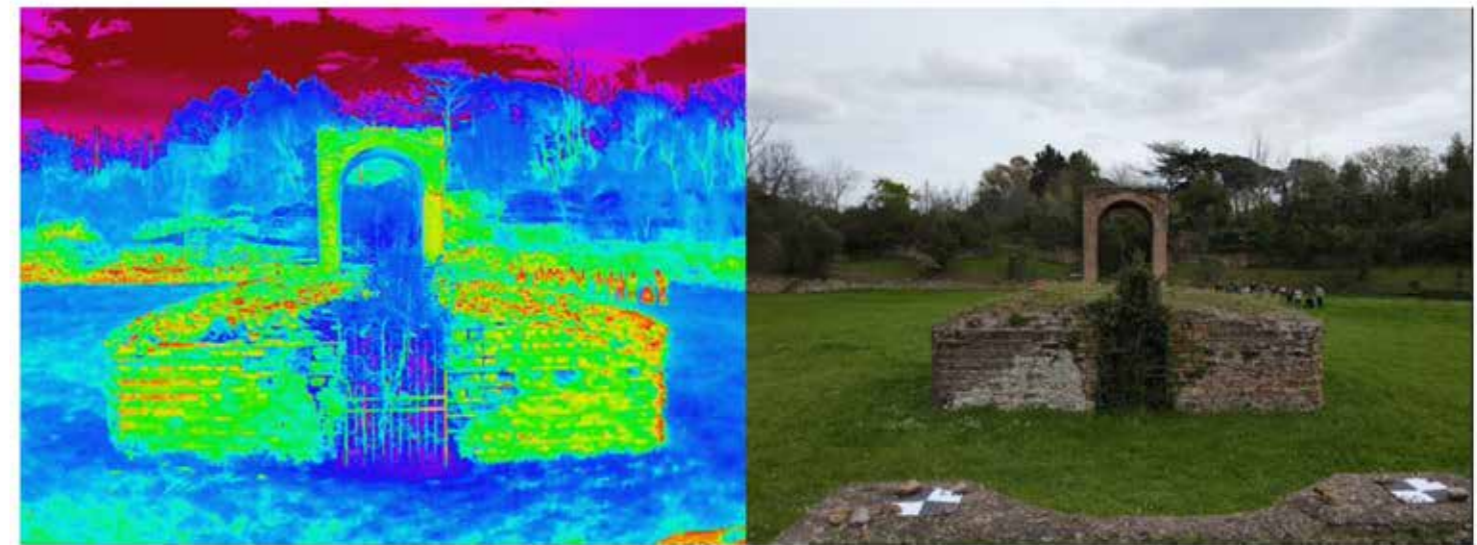
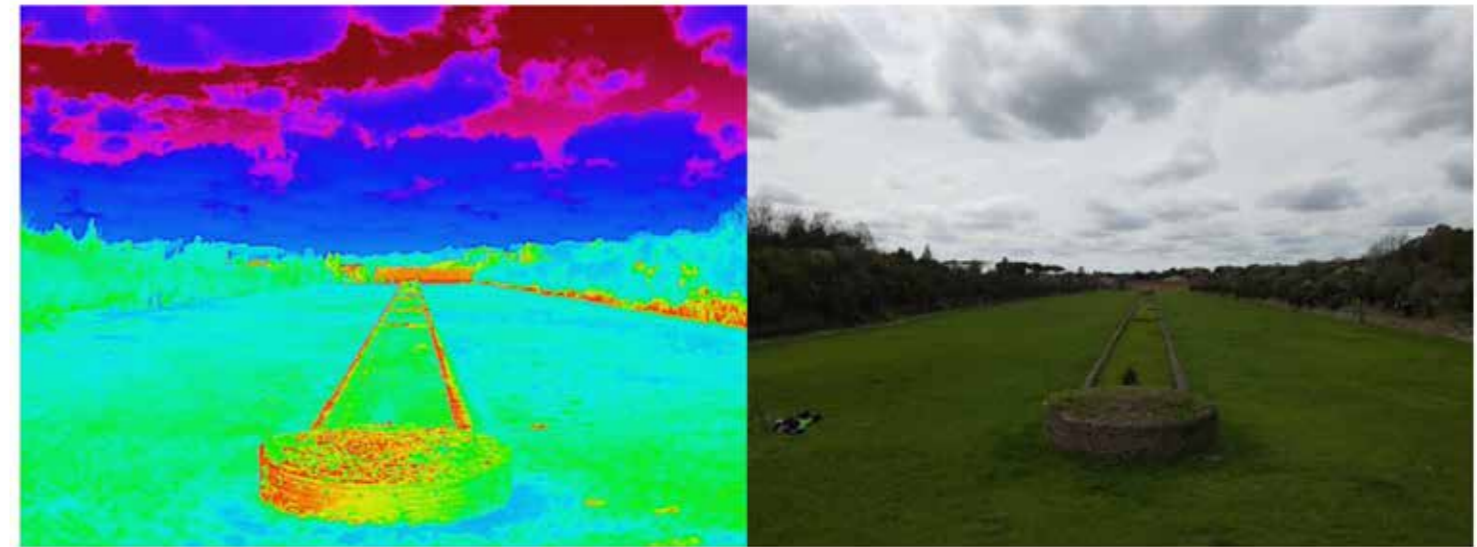
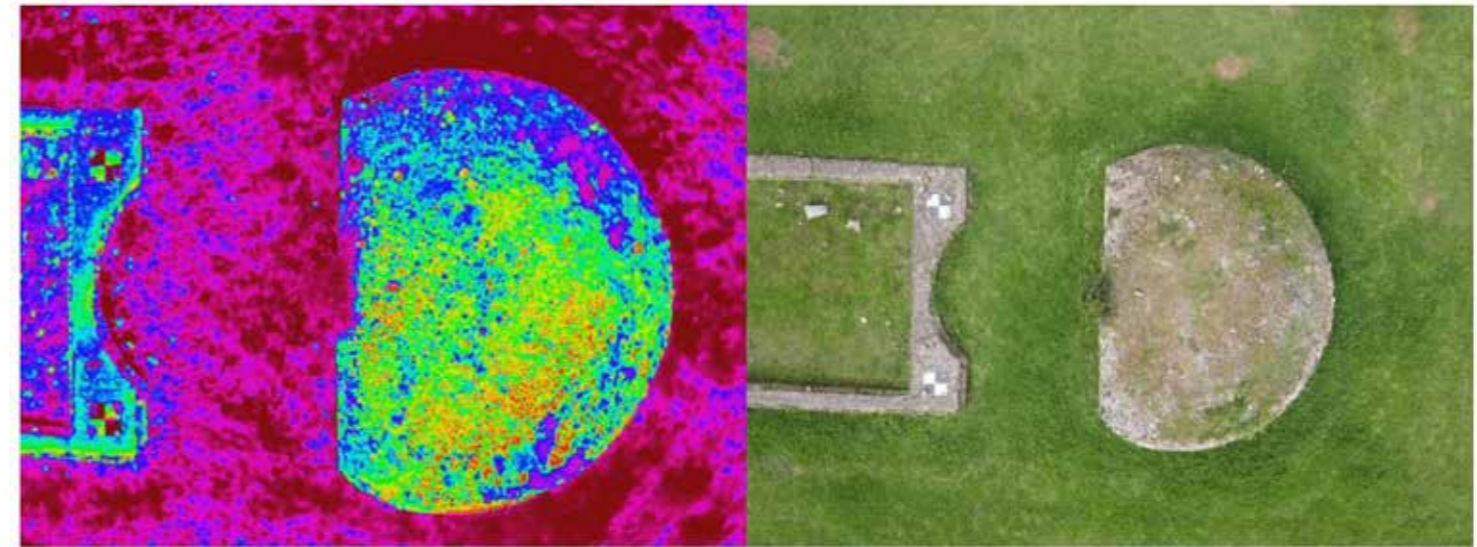


Fig. 8 - Acquisizione con termocamera dello stato di alcuni oggetti archeologici, formato jpg.

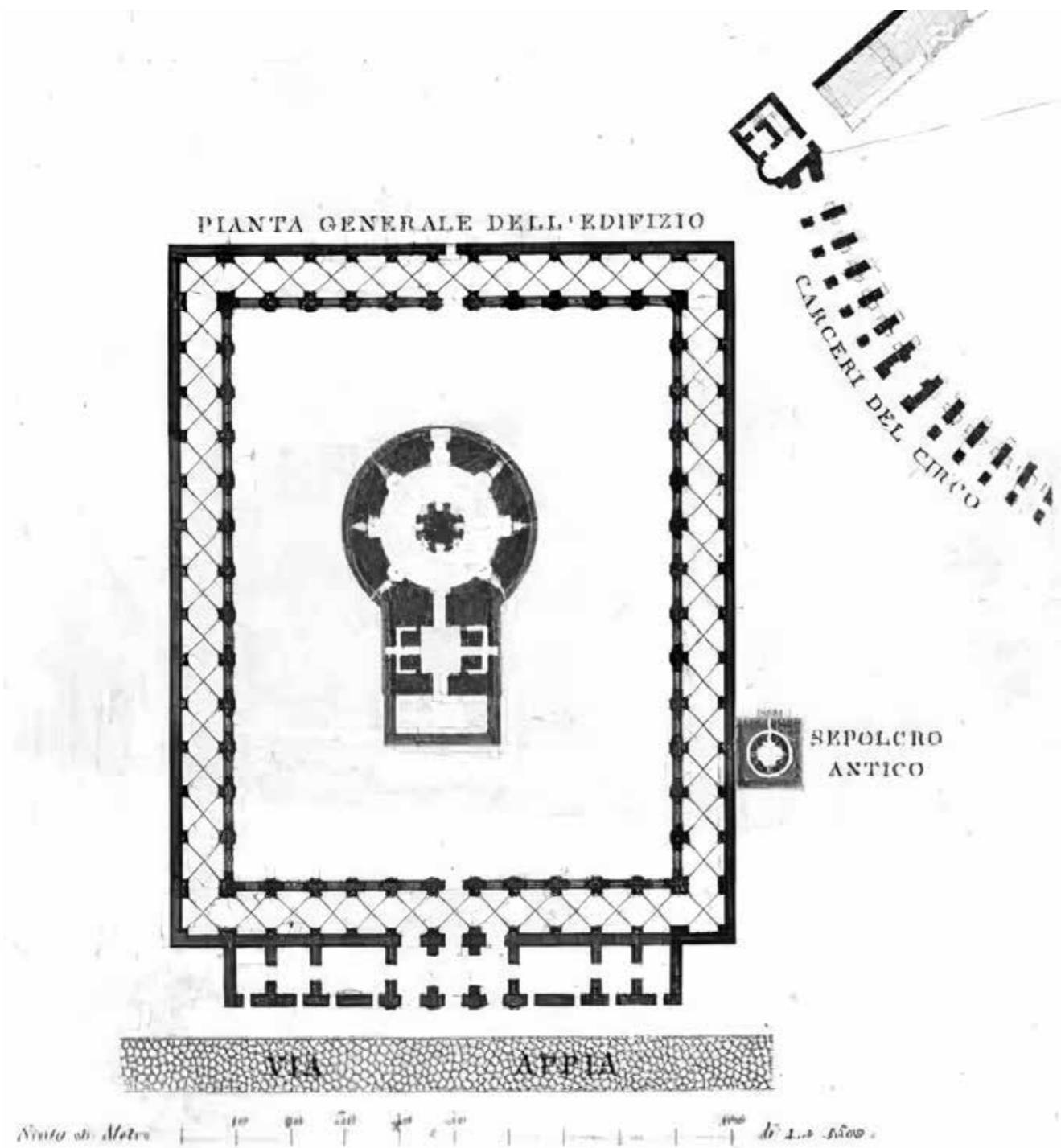


Fig. 9 - Mausoleo di Romolo, Luigi Canina, Gli Edifizj di Roma Antica, formato .jpg

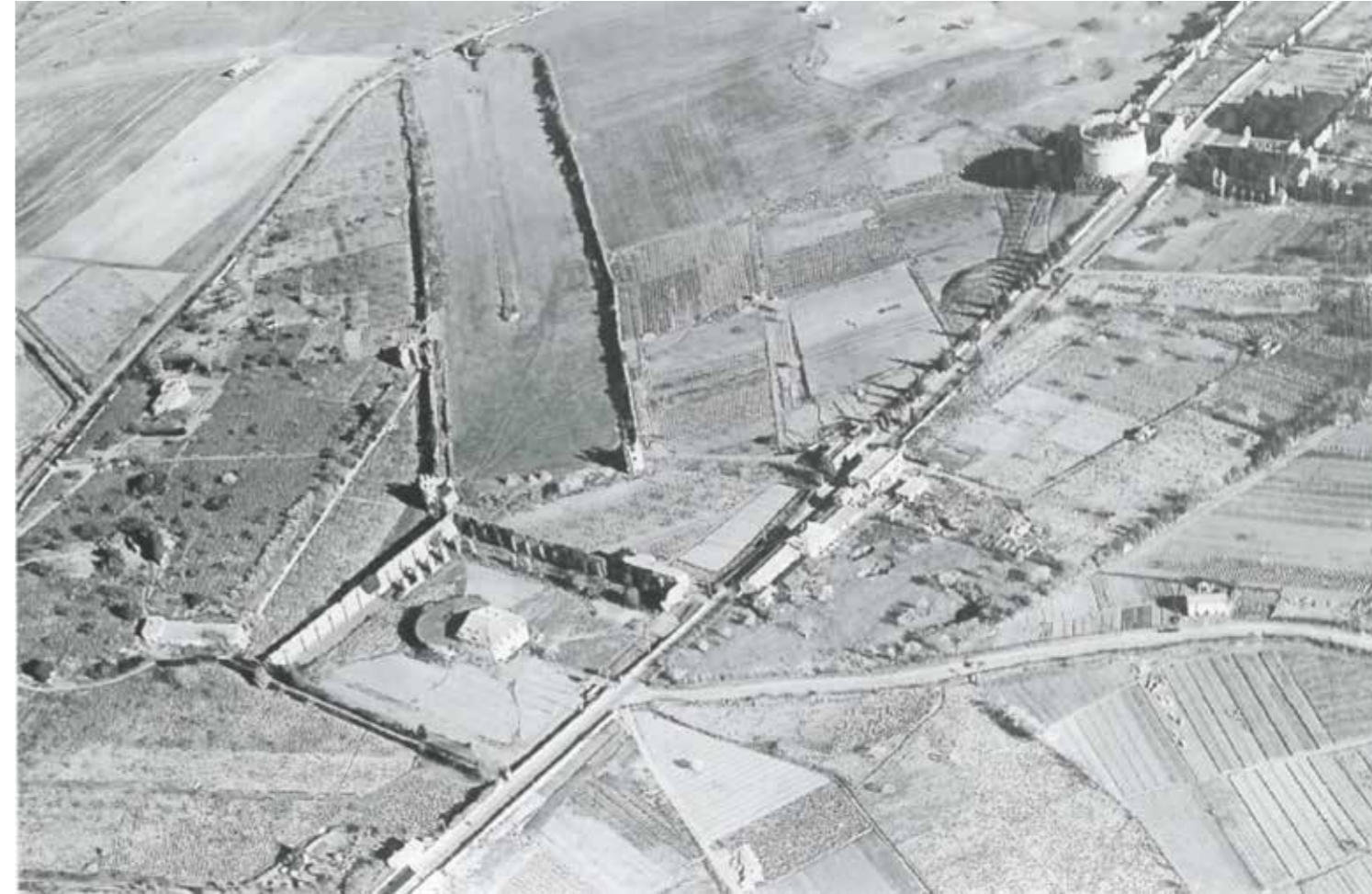
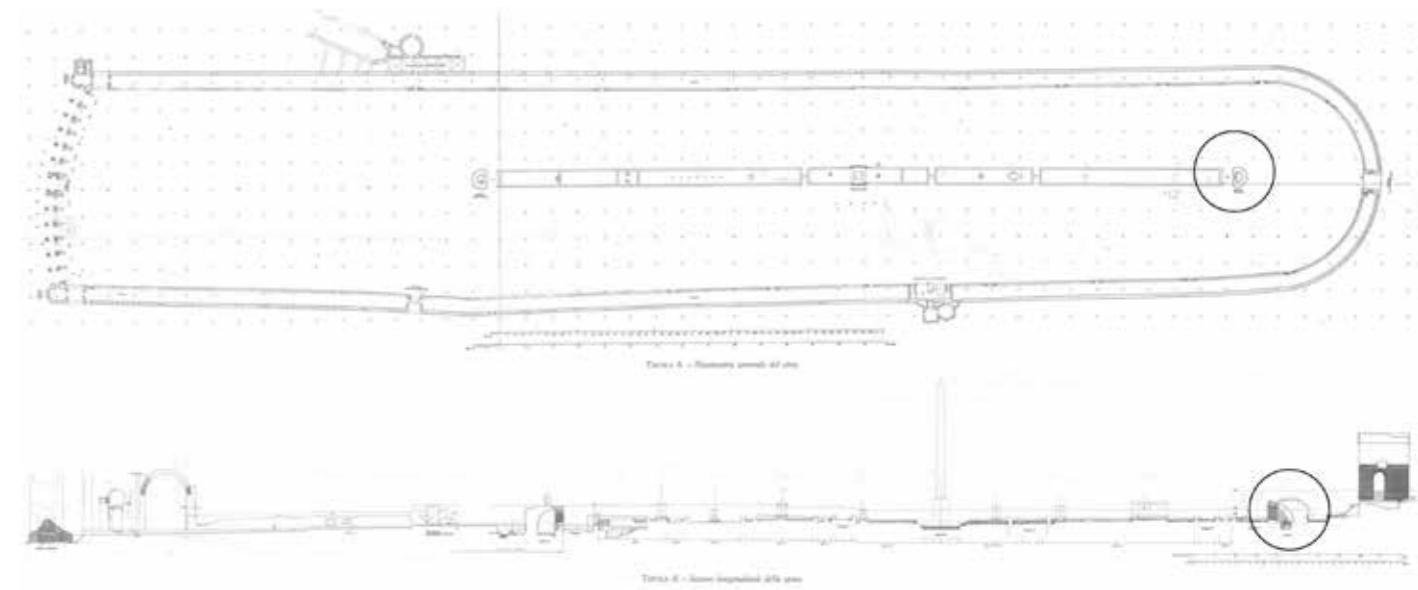


Fig. 10 - Foto degli anni '30 della Villa di Massenzio degli anni '60, formato .jpg, Archivio Capitolino.



G. Joppolo, Tavola A: Planimetria del circo, Sezione longitudinale del circo, in foglio 1998.

Fig. 11 - Immagine del rilievo del Circo della Villa di Massenzio, formato .jpg

## CONCLUSIONI

Il Better Information Management/Methodology può essere visto come una avanzata definizione di quanto sotteso alle procedure BIM, spostato, dal punto di vista contenutistico, l'attenzione sulla qualità, l'intermodalità e l'interoperabilità dei dati informati e sul loro ambiente di condivisione (CDE). Il BeIM consente di introdurre e gestire dati in tempo reale nel Common Data Environment, come le IoT (Internet of Things), con l'inserimento di flussi dati per la gestione e il controllo di applicazioni legate a case intelligenti o Smart Home, a smart building o edifici intelligenti, allo smart metering, alla smart factory, alle città intelligenti o Smart City.

L'ambito prettamente tecnico del BIM consente con il BeIM si aprire finestre di condivisione dati anche con gli utilizzatori finali del dato stesso, come nell'uso delle ICT (Information and Communication Technology), con la consultazione mediante APP che funzionano sui portable devices come smartphone e tablet.

## BIBLIOGRAFIA

Borkowski, A. S., Wyszomirski, M. (2021). Landscape Information Modelling: an important aspect of BIM modelling, examples of cubature, infrastructure, and planning projects. In: *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, No. 1, 2021, pp. 7-22.

Della Scala, V., Quaglio, C., Todella, E. (2023). GeoBIM for Urban Sustainability Measuring: A State-of-the-Art in Building Permit Issuance. In Gervasi, O., et al. (editor) *Computational Science and Its Applications - ICCSA 2023 Workshops*. Cham: Springer.

Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Hoboken: John Wiley & Sons.

Empler, T. (a cura di) (2020). *Prevenzione e Ricostruzione Sismica: Ricerche e Metodi. Intervenire nel territorio di Accumoli*. Roma: Dei - Tipografia del Genio Civile.

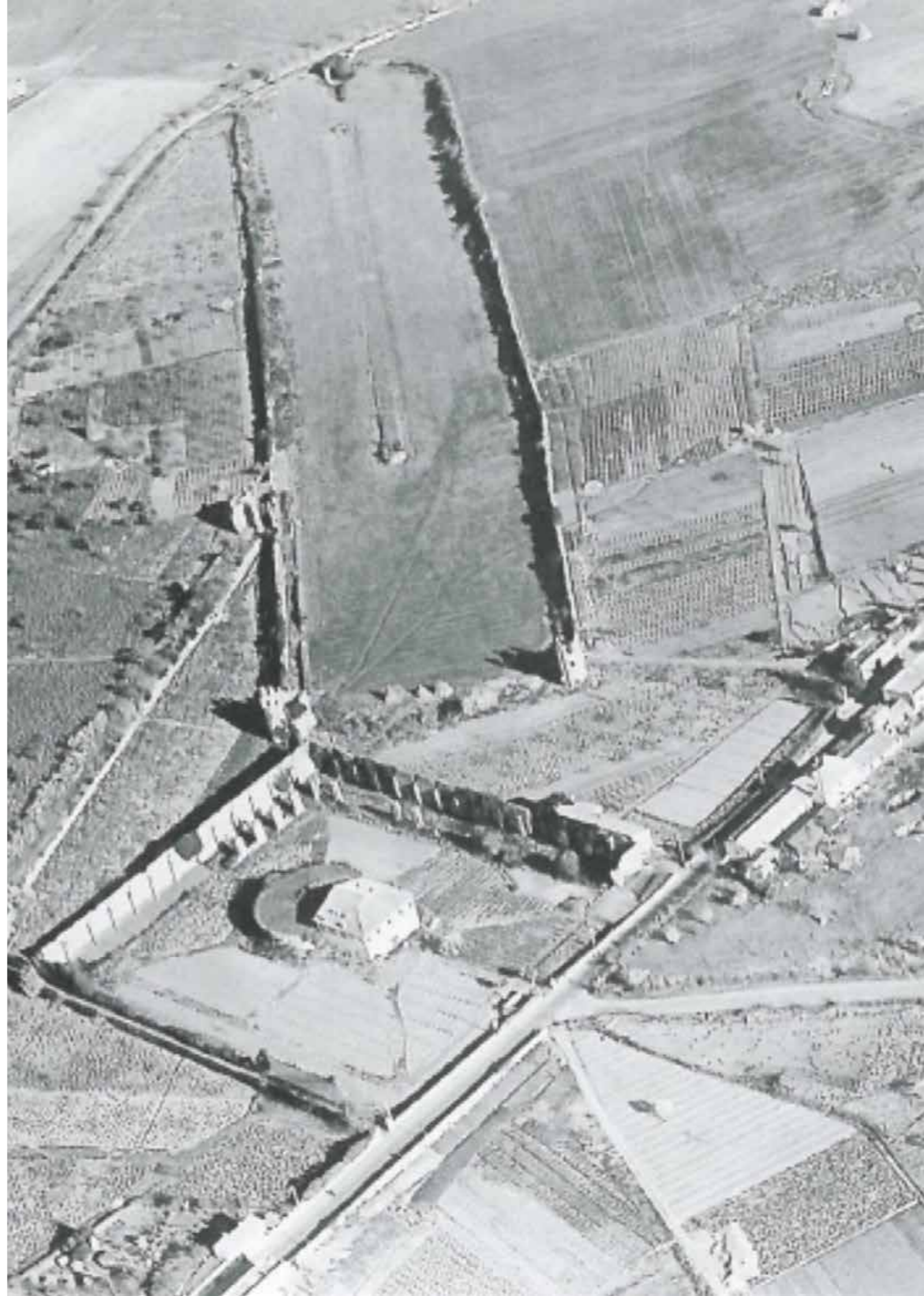
Kocakaya, M.N., Namlı, E., Işıkdag, Ü. (2019). Building Information Management (BIM). A New Approach to Project Management. In *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, 4(1) (2019), pp. 323-332.

McArthur, J.J. (2015). A building information management (BIM) framework and supporting case study for existing building operations, maintenance and sustainability. In "ScienceDirect", *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction*. Amsterdam: Elsevier Ltd, pp. 1104-1111.

Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S. (2009). Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. In *Structural Survey*, Vol. 27 No. 4, pp. 311-327.

Tomasella, N., Caporlingua, M. (2017). IL BIM: Definizione e analisi del processo che ha rivoluzionato l'approccio al progetto edilizio. In *Tecnica e Ricostruzione*, Anno LXVII, Luglio 2017, pp. 45-49.

Zajíčková, V., Achten, H. (2013). Landscape Information Modeling. Plants as the component for information modeling. In *Computation and Performance - Proceedings of the 31st eCAADe Conference - Volume 2*, Faculty of Architecture, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 18-20 September 2013. p. 515-524.



# "MASCHERE PARLANTI: DALLA MODELLAZIONE DIGITALE AL FACIAL MOTION CAPTURE PER LA FRUIZIONE INCLUSIVA"

“SPEAKING MASKS: FROM DIGITAL MODELING TO FACIAL MOTION CAPTURE FOR INCLUSIVE EXPERIENCE”

## AUTHOR

Francesca Fatta<sup>1</sup>, Sonia Mollica<sup>1</sup>, Francesco Stilo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Università 'Mediterranea' di Reggio Calabria

## EMAIL

ffatta@unirc.it;  
sonia.mollica@unirc.it;  
francesco.stilo@unirc.it

## KEYWORDS

MASCHERE LIPARESI  
SATIRO  
UMANIZZAZIONE TEATRALE  
MOTION TRACKING  
TEATRO DIGITALE

## ABSTRACT

Sulla base del rilievo fotogrammetrico e della restituzione tridimensionale della maschera del Satiro, custodita presso il museo Bernabò Brea di Lipari, il contributo intende comprendere l'indossabilità in scala reale della stessa, processo funzionale alla fruizione immersiva del bene. È anche attraverso il *facial motion capture*, abbinato allo *storytelling*, che si intende proporre una nuova musealità, incentrata sulla narrazione dei reperti e sul coinvolgimento customizzato degli utenti.

*Based on the photogrammetric survey and the three-dimensional reconstruction of the Satyr mask, kept at the Bernabò Brea Museum in Lipari, the contribution aims to understand the real-scale wearability of the mask, a process essential for the immersive enjoyment of the artifact. It is also through facial motion capture, combined with storytelling, that the goal is to propose a new form of museology, focused on the narration of the finds and the customized engagement of users.*

## INTRODUZIONE

Fare ricerca nel campo dei beni culturali significa dialogare con le scienze umane per trovare una strada comune finalizzata alla conoscenza di un vasto ed eterogeneo patrimonio, per una comunicazione più mirata e una messa in valore più consapevole.

La sfida oggi è quella di sfruttare gli strumenti digitali applicando le tecniche computazionali ai settori storico, letterario, linguistico e dei beni culturali. E tale è l'obiettivo che la presente ricerca si è data, lavorando su una ricerca PRIN dal titolo "La maschera tra ritualità e teatro. Indagine archeologica, letteraria, storica, antropologica e performativa di cultura materiale nel mondo classico attraverso gli strumenti delle Digital Humanities nell'ottica di una fruizione culturale più ampia, equa e inclusiva". Si tratta di una ricerca sull'importante collezione di maschere in terracotta conservate presso il parco archeologico di Lipari, basata su un approccio multidisciplinare che intende scommettere sulle potenzialità di nuovi campi di indagine finora inesplorati, e di allargare il potenziale pubblico di fruitori delle discipline umanistiche tramite le tecnologie digitali, ormai principali mezzi di produzione e distribuzione di conoscenza nella nostra società.

Il progetto, in itinere, si propone di identificare le funzioni della maschera antica utilizzando un approccio interdisciplinare ai fini di una più efficace disseminazione dei risultati nel contesto culturale odierno. Su una base scientifica accurata sia storica che filologica condotta su testi e su reperti archeologici con funzione teatrale e rituale, si innesta l'applicazione delle Digital Humanities che consente di utilizzare i risultati della ricerca in maniera innovativa e maggiormente inclusiva, sia in ambito museale (esposizioni permanenti e temporanee) sia in ambito teatrale (allestimento di spettacoli). Tali sperimentazioni creano attenzione, conoscenza e momenti di esperienze anche ludiche collettive che definiscono un nuovo tipo di fruizione e inclusione.

## DALL'OGGETTO MUSEALE AL REPERTO DIGITALE

Il processo di modellazione digitale, applicato ai beni archeologici, presenta particolari problematiche e peculiari soluzioni atte a risolverle, tutte comunque indirizzate verso la tutela e la possibilità di fruizione e condivisione di beni comunemente destinati ad essere esposti e fruiti attraverso il filtro della vetrina. Se da una parte tali considerazioni possono essere estese a tutti quei beni archeologici inseriti in contesti museali, dall'altra uno spunto di riflessione particolare ci proviene pensando a quegli oggetti di uso non comune, dotati di valenza preminentemente artistica.

Le maschere di Lipari, conservate presso il museo Bernabò Brea della città, rappresentano la trasposizione fittile in scala ridotta di maschere teatrali della tragedia e della commedia greca, originariamente realizzate in materiali deperibili<sup>1</sup>. Nell'ambito del progetto di ricerca *The Mask - Between Rituality and Theatre*, è stata realizzata una campagna di rilievi fotogrammetrici *sfructure from motion (SfM)* che ha portato alla digitalizzazione di oltre 30 reperti. Il presente contributo mostra gli esiti relativi al reperto inventariato con il numero 2304 ed interpretato come personaggio del dramma satiresco (Fig.1).

In data 28/02/2024, sono state acquisite 232 immagini fotografiche del reperto 2304, suddivise in tre gruppi, relativi ad altrettante posizioni fatte assumere alla maschera sul piatto. L'acquisizione è avvenuta all'interno di ambiente a luminosità controllata; è stata utilizzata una light box dotata di piatto rotante automatico provvisto di target.

Al fine di garantire la più accurata e completa copertura delle superfici, per ogni gruppo sono stati realizzati due acquisizioni, caratterizzate da un differente angolo di ripresa<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Le maschere sono state rivenute in contesti funerari databili tra il IV e III secolo a.C. Tale prassi, per la quale sono state proposte diverse interpretazioni, non avrebbe confronti nel bacino mediterraneo. Le maschere testimoniavano la connessione esistente tra il teatro, il culto dionisiaco e il culto dei morti. Si veda Bernabò Brea, L. (1981).

<sup>2</sup> Approssimativamente a 0 e 45 gradi rispetto al piano di appoggio.

<sup>3</sup> In questo senso superando i limiti di campo visivo generalmente imposte dalle modalità di esposizione fisiche.

<sup>4</sup> Vedi <https://skfb.ly/oTzFW>

È stata utilizzata una fotocamera digitale mirrorless Fujifilm X-E1 dotata di sensore APS-C da 16.3 megapixel ed ottica Fujinon XF 18-55mm f/2.8-4 R LM OIS.

La fase della fotomodellazione, costituita in primo luogo dagli step di allineamento e di produzione della nuvola di punti densa, ha consentito la produzione di un modello mesh di tipo *triangulated irregular network (TIN)* dotato della relativa texture e caratterizzato da grande accuratezza nella riproduzione del reperto stesso. Osservando la mesh sono visibili, infatti, anche i più piccoli dettagli ed

imperfezioni che caratterizzano l'oggetto modellato in argilla, con una precisione ben al di sotto del millimetro. Il modello ottenuto, configuratosi quale calco digitale in scala 1:1 dell'oggetto, si costituisce quale base su cui poter costruire molteplici sviluppi.

Tra questi può essere proposta la fruizione virtuale del reperto<sup>3</sup> finalizzata ad una sua condivisione aperta. A tale scopo il reperto digitale è stato caricato all'interno di un repository on line<sup>4</sup>, presso cui è in fase di allestimento una collezione digitale costituita da una selezione di reperti acquisiti.

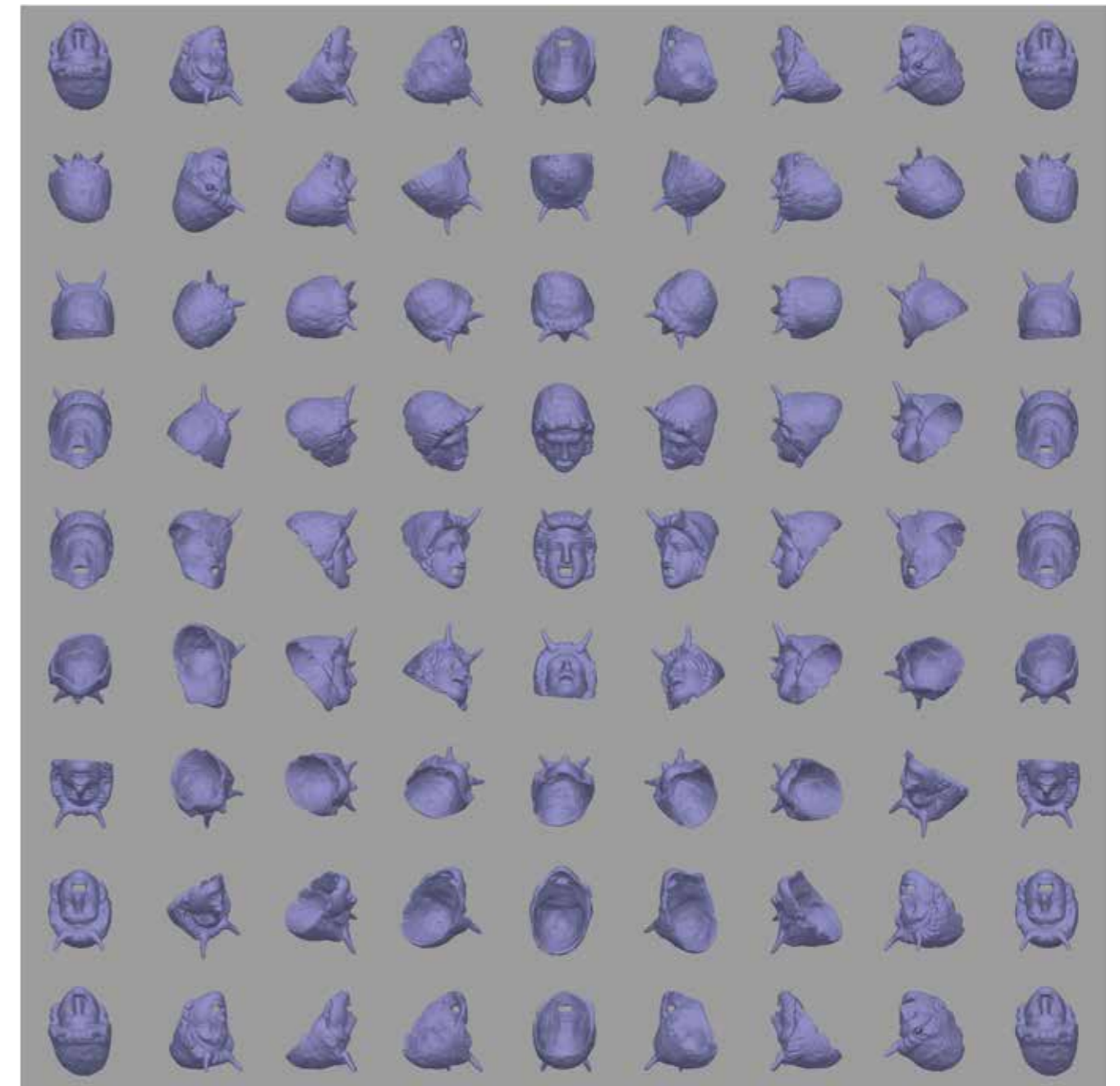


Fig. 1 - Inv. 2304 - Satiro. Punti di vista assometrici. F. Stilo.

Tale modalità di fruizione, seppure non sostitutiva di una visione dal vero, permette di superare alcuni dei limiti imposti dalla musealizzazione.

La maschera può essere osservata da ogni sua angolazione, ed a differenti gradi di ingrandimento, mostrando così anche le superfici interne, le porzioni ed i dettagli meno visibili.

Un secondo sviluppo è costituito dalla possibilità di realizzare repliche analogiche del reperto attraverso l'uso di stampante 3D, anche destinate alla fruizione aptica. In questo caso la mesh è stata importata all'interno del software Ultimaker Cura per la gestione della stampa 3d e preparata per la stessa. È stata utilizzata una stampante Ultimaker S5 caricata con bobina di PLA bianco da 2.85 mm di diametro. Il modello ottenuto, realizzato in scala 1:1, ad eccezione dell'aspetto cromatico, rappresenta la riproduzione fedele del reperto (Fig. 2).

### DAL REPERTO DIGITALE AL PROTOTIPO INDOSSABILE

Un ulteriore e più ampio sviluppo è costituito dalla produzione di elaborati grafici analitici destinati a scopi diversi. In quest'ultimo raggruppamento ricade l'esperienza sintetizzata in Fig. 3, relativa alla verifica morfo dimensionale della maschera del satiro (Inv. 2304) nel rapporto con la figura umana. A tal fine è stata eseguita la scansione dell'autore e l'elaborazione della nuvola di punti e della relativa mesh con tecnica di fotogrammetria digitale. Il passaggio ha consentito la messa in scala della maschera secondo una proporzione reale e personalizzata.

Se da un lato è emersa la sostanziale indossabilità del reperto<sup>5</sup>, fatta la dovuta trasformazione di scala, dall'altro si sono potuti evidenziare alcuni punti critici quali la mancanza di un incavo per il naso, il non perfetto allineamento tra bocca e occhi e la mancanza di fori per questi ultimi, l'assenza di un sistema di ancoraggio che possa trattenere la maschera durante i movimenti.

Tali problematiche sono state risolte in digitale mediante la manipolazione della *mesh*.

La stessa è stata trattata e modellata opportunamente attraverso l'impiego di software quali, in particolare, Blender e Autodesk Meshmixer. Il modello così preparato è stato stampato e testato su di un indossatore reale (Fig. 4).

### MASCHERE PARLANTI: IL FACIAL MOTION CAPTURE AL SERVIZIO DELLA FRUIZIONE INCLUSIVA

Se il processo di adattamento e scalatura dalla dimensione reale del reparto alla dimensione 'umana' appare essere caratterizzato da alcune difficoltà stilistiche prettamente insite nella maschera stessa, tale approccio muta di significato nel mondo digitale. Con la fluidità del modello digitale della maschera di tipo teatrale si vogliono infatti superare le barriere presenti tra la cultura, l'utente e il teatro, attraverso il quale perseguire una nuova cultura, legata alla materialità, alla storia e all'inclusività dei beni culturali [Pizzo, 2003]. Il processo di 'naturalizzazione umana' della maschera è quindi la base formale attraverso la quale proporre nuove produzioni interattive, utili per una disseminazione più inclusiva e democratica.

Nell'ambito della fruizione dei beni culturali, è ormai noto come le esperienze costruite intorno al prodotto diventino spesso più importanti del prodotto stesso [Zaghi, 2018]. In questo contesto, lo 'storytelling' è una metodologia che si serve della narrazione come strumento per inquadrare gli eventi e spiegarli secondo una logica di senso, vale a dire una forma 'scientificamente progettata' [Perissinotto, 2020], attraverso la quale connettere la cultura in una forma comunicabile e comprensibile.

Del resto, come definito dal Piano Nazionale per l'Educazione al Patrimonio [Ministero della cultura, 2023], promulgato dalla Direzione Generale Educazione, l'educazione al patrimonio si definisce come un asset dal ruolo strategico, attraverso la quale rilanciare il settore culturale, economico e sociale. "Ripartire dalla cultura come bene comune e come condivisione" [DiCultHer, 2019] è dunque il principale leitmotiv caratterizzante il processo che lega la cultura all'utente, focalizzando tutti gli obiettivi alla 'condivisione' della cultura e dei modi attraverso i quali fruirne [Di Paolo, 2018].

<sup>5</sup> Si ricorda come le maschere di Lipari non siano pensate per essere indossate.

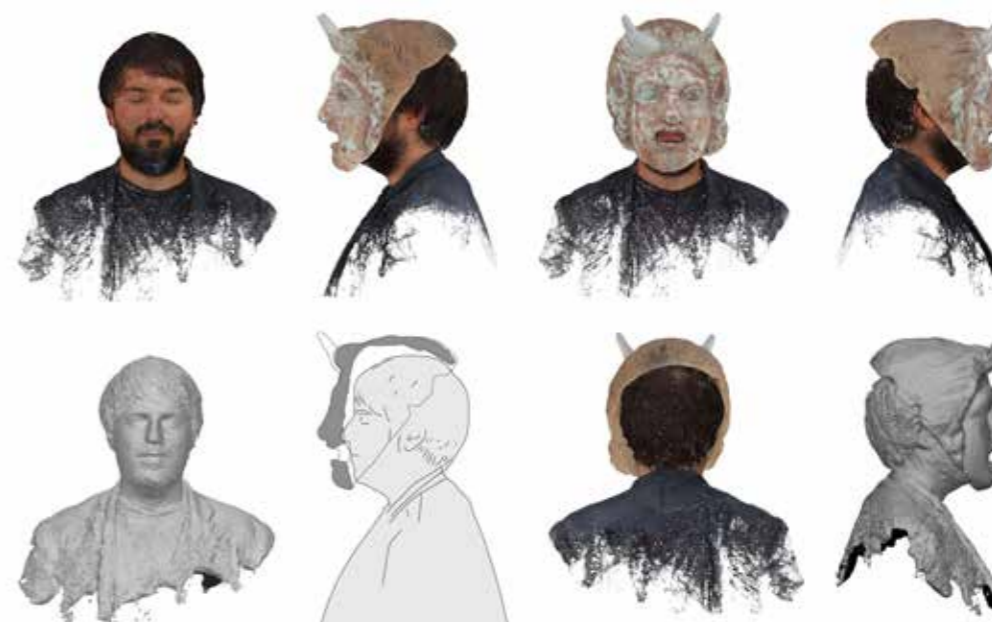


Fig. 3 - Verifica morfo dimensionale digitale. F. Stilo.

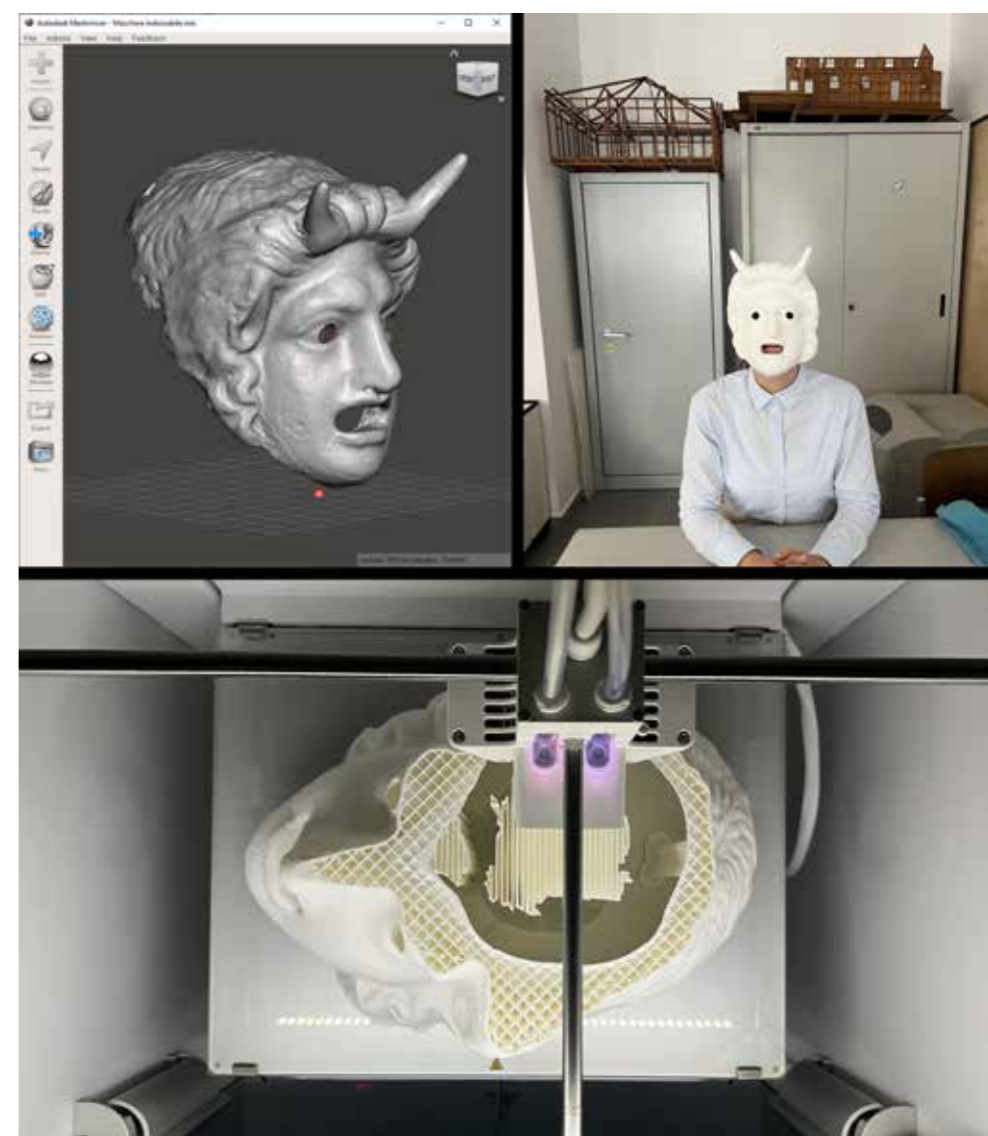


Fig. 4 - Modellazione della mesh in Autodesk Meshmixer (in alto a sinistra); stampa del modello (in basso); prova di indossabilità. F. Stilo.



Gli strumenti digitali – siano essi applicazioni multimediali, sistemi di realtà aumentata o attrezzature per la realtà virtuale – entrano di diritto tra i prodotti utili alla fruizione della conoscenza [Lampis, 2018], nei quali la percezione e la customizzazione del prodotto giocano un ruolo fondamentale. Mediante l'utilizzo della tecnologia e del digitale è infatti possibile porre al centro dell'esperienza l'utente fruitore, in linea con i principi di edutainment, sistema comunicativo indirizzato alla conoscenza e al divertimento [Cervellini, et al., 2011]. In questo senso, sulla base di una promozione umano-centrica della cultura e dei beni culturali, fondata sui principi della narrazione e dell'affabulazione, s'intende approfondire quella che è una metodologia particolarmente performante nell'unione tra i beni culturali e il fruitore, di seguito applicata alle maschere a uso teatrale, verso una perfetta commistione tra reale e digitale.

Il *facial motion capture*, in breve *facial mocap*, si definisce infatti come uno strumento adatto a soluzioni museali 'aumentate' e a scene teatrali contemporanee, attraverso il quale sovrapporre la maschera di dimensione 'umana' sul volto del fruitore, replicandone la mimica e i movimenti, rendendola inoltre capace di narrarne le storie e i miti. Tale procedura consta, infatti, della conversione dei movimenti facciali di un utente rispetto al modello mesh, capace di seguire in maniera estremamente realistica e naturale le espressioni sorgente.

In generale, il processo di *facial mocap* descrive le coordinate, e dunque le posizioni, relative a specifici punti individuabili sul volto dell'utente. Tale processo può essere di tipo bidimensionale, anche detto *expression tracking*, o tridimensionale, ossia di tipo *motion capture*. Se quest'ultimi si configurano essere come degli strumenti capaci di seguire movimenti a 360°, si definiscono al tempo stesso più costosi e complessi. L'applicazione dell'*expression tracking bidimensionale*, invece, è senza dubbio più semplice rispetto alla precedente metodologia, oltre a definirsi un'alternativa low cost, in quanto riproducibile con applicazioni FLOSS (*Free and Open Source Software*).

In entrambi i casi, il prodotto finale può essere perseguito attraverso l'utilizzo di un processo *marker-based* o *markerless*. La tecnologia *markerless*, vale a dire senza marcatori, viene processata utilizzando come marker le differenti caratteristiche del volto – quali narici, angoli delle labbra, degli occhi, e

altre caratteristiche proprie del volto preso in esame – permettendo di replicare in maniera estremamente fedele, attraverso l'utilizzo di sistemi di riconoscimento facciale, il movimento delle pupille e l'occlusione dei denti. Tale processo risulta però essere eccessivamente dispendioso e complesso se applicato ad elementi digitali poco complessi, scervi da elementi morfologici caratterizzanti.

Per tale ragione, si è individuato nel processo *marker-based* la metodologia maggiormente performante.

Il processo di *expression tracking* di tipo *marker-based*, si fonda sull'apposizione di una serie di *marker* ad alto contrasto sul viso del fruitore (Fig. 5), attraverso i quali collegare la fisionomia del viso di base al punto fisionomico corrispondente, associato al modello digitale della maschera. Ogni marker – posizionato nei punti cospicui del viso, in particolare modo lungo la bocca, la fronte e gli occhi – viene infatti ancorato a dei tracker posizionati sul modello digitale della maschera, in maniera coerente rispetto al volto reale (Fig. 6). La difficoltà di tale processo diviene direttamente proporzionale alla complessità morfologica del modello digitale. Tanto più le fattezze del modello saranno distanti dalla comune fisionomia del viso, tanto più la corrispondenza dei tracker sarà complessa.

I *tracker* non sono però ancora sufficienti a replicare la mimica facciale. Occorre infatti predisporre un'armatura di base, sulla quale ancorare ai movimenti facciali le deformazioni del modello, e dunque della maschera. È mediante questa 'struttura' che è possibile gestire l'intero movimento, modificando il campo di azione delle singole armature, vale a dire i 'pesi' ad asse connesse (Fig. 7).

Il modello digitale della maschera in 'scala umana' è a questo punto agganciato al volto umano del fruitore, governato dalla sua mimica facciale (Fig. 8). Tale commistione ci permetterà di spingere la fruizione del manufatto-maschera verso un'esperienza museale maggiormente inclusiva e accattivante, oltre a costituire una potenzialità nell'ambito del teatro 2.0. La comunicazione a due livelli, ci permette infatti di far prendere vita a quei manufatti altrimenti muti, ora capaci di raccontare storie e di raccontarsi.



Fig. 5 - Imposizione dei marker sul volto ed esportazione frame. S. Mollica.

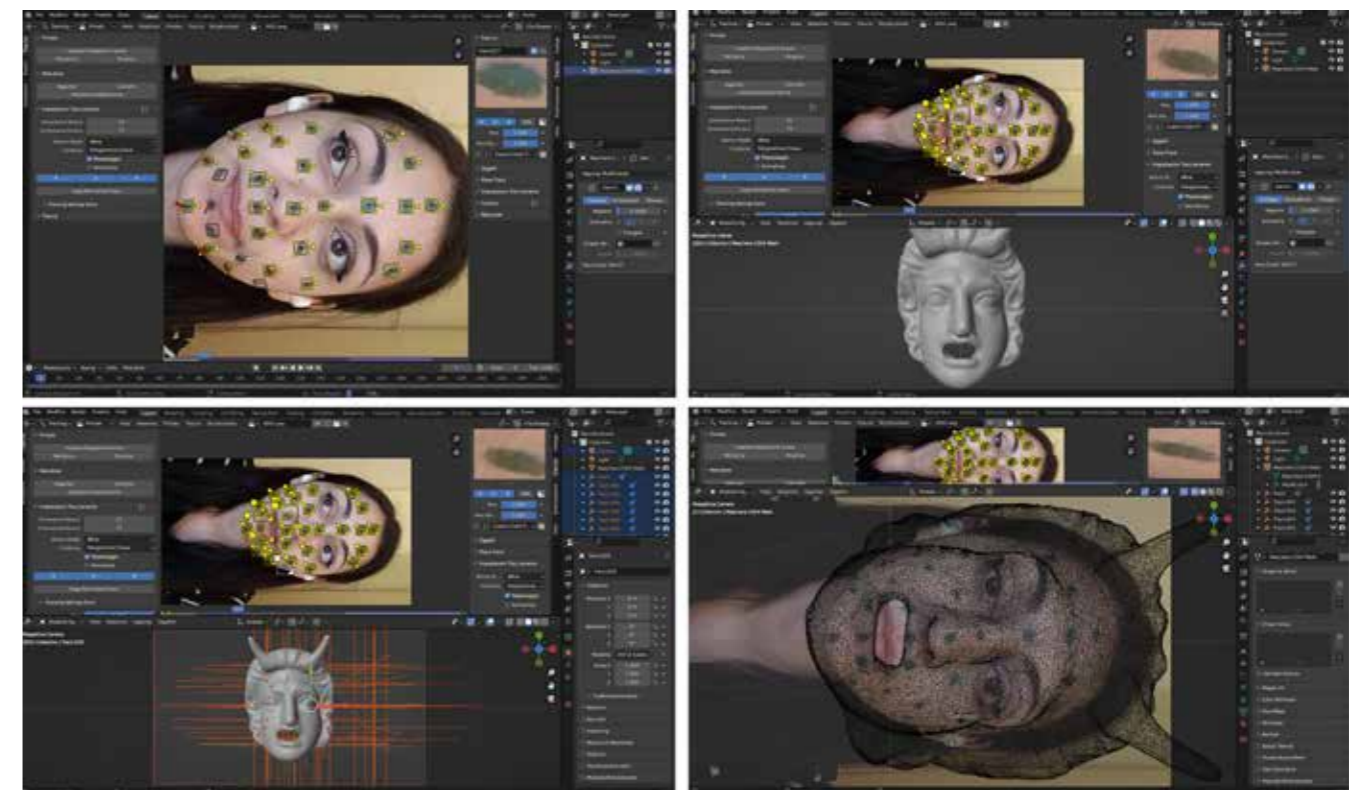


Fig. 6 - Individuazione dei marker e costruzione dei tracker sul modello digitale. S. Mollica.

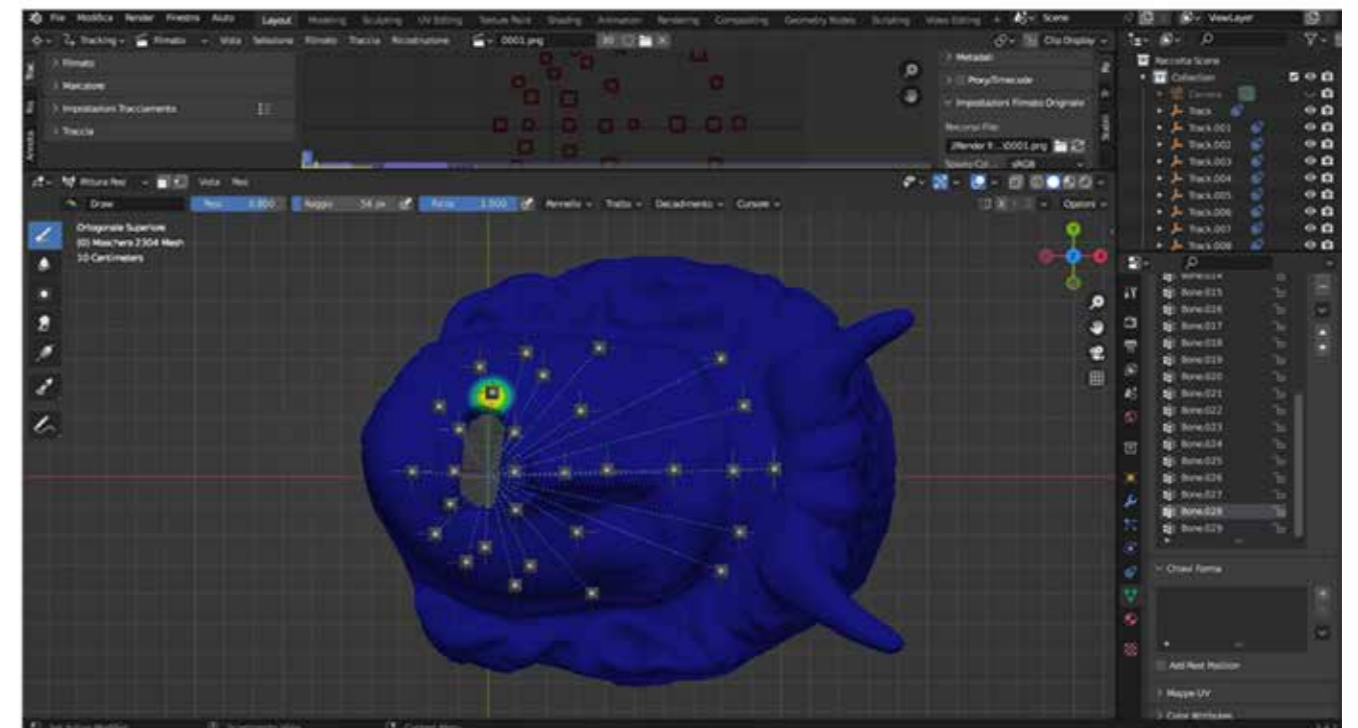
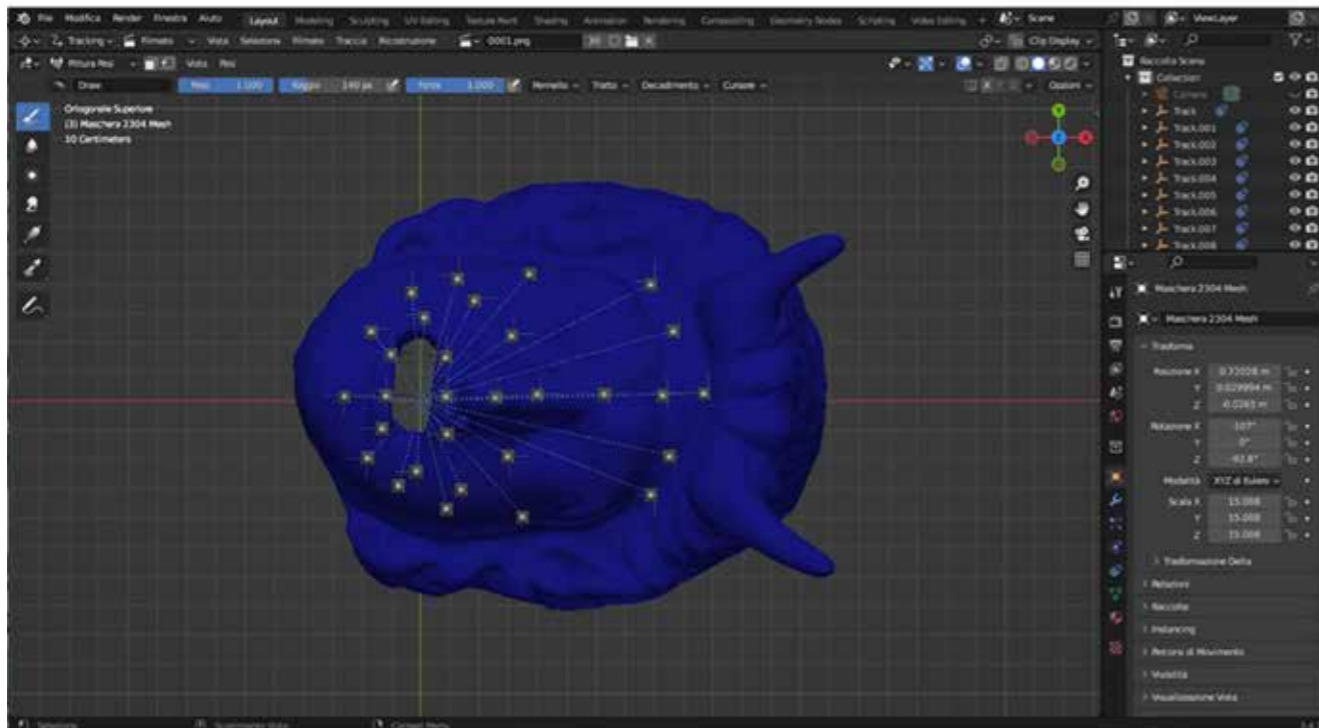
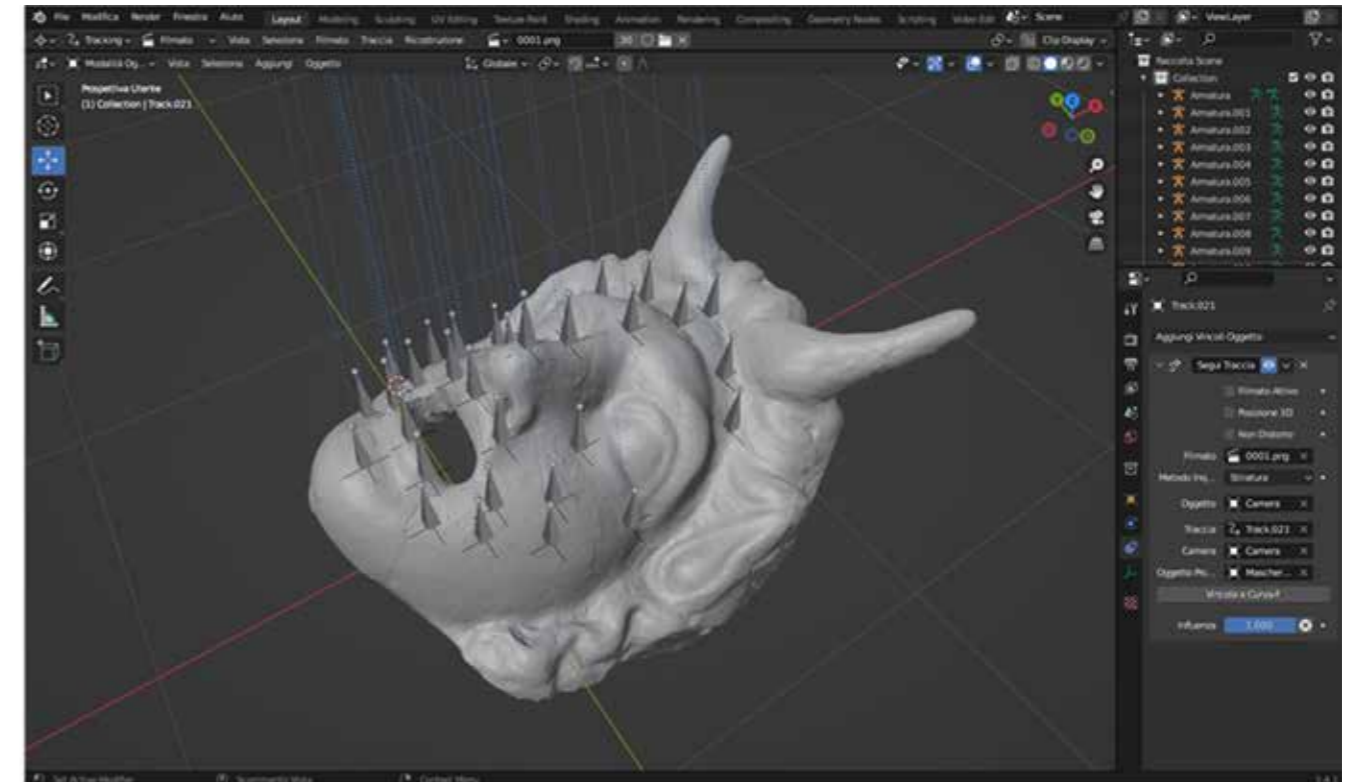
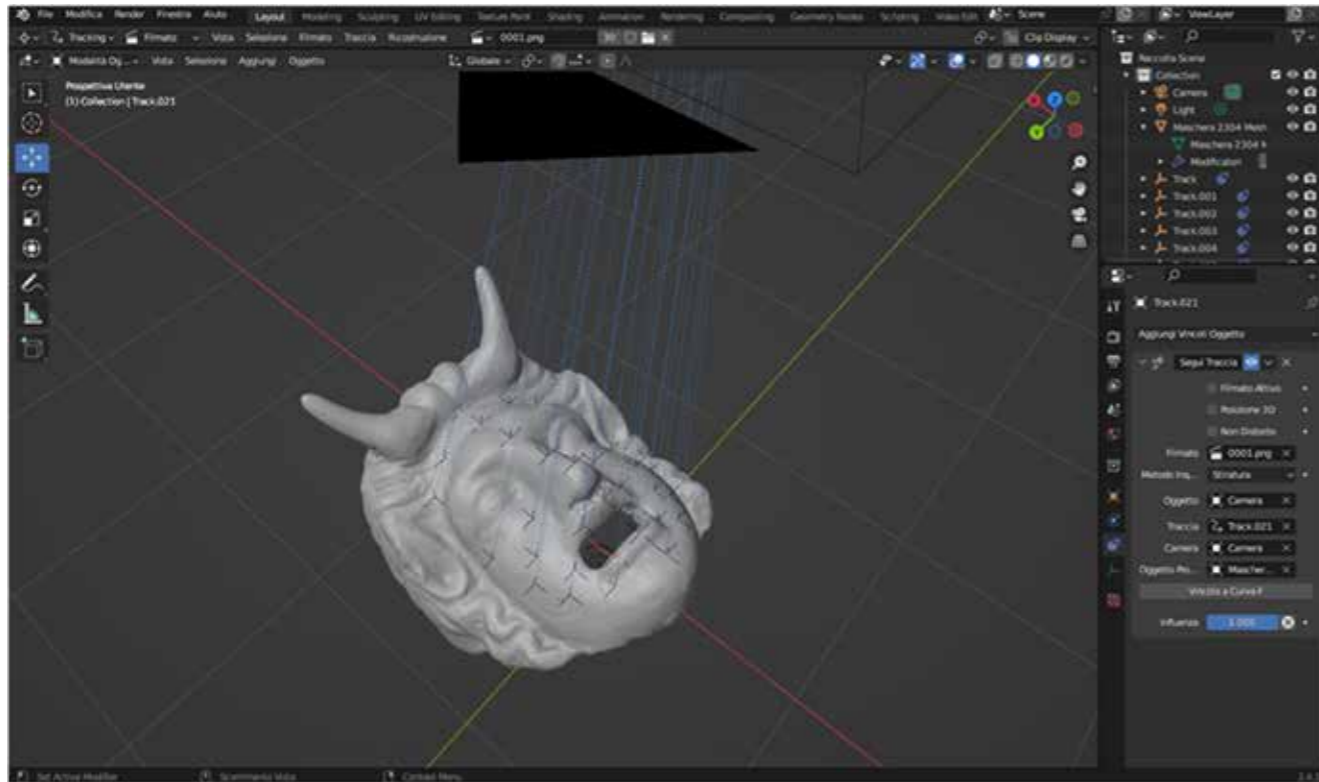


Fig. 7 - Pagina sinistra e destra. Costruzione dell'armatura e gestione dei pesi. S. Molica

## CONCLUSIONI

Sulla base di una promozione umano-centrica della cultura e dei beni culturali, la digitalizzazione, la prototipazione ed il facial motion capture divengono processi dall'alto potenziale, attraverso i quali accrescere il rapporto di fidelizzazione e inclusione tra l'utente e il patrimonio culturale. Il workflow nel suo complesso si definisce infatti come uno strumento adatto alla produzione di soluzioni museali 'aumentate' ed alla costruzione di scene teatrali contemporanee, attraverso cui sovrapporre la maschera di dimensione 'umana' al volto del fruitore.

Il processo risulta essere estremamente a basso costo e replicabile, oltre a configurarsi come valida alternativa al racconto in tempo reale della storia associata alla maschera stessa. Il facial motion tracking se affiancato a sistemi video dotati di riconoscimento facciale, può essere attuato in tempo reale, permettendo così di potenziare l'edutainment nei contesti museali e teatrali.

Tra le criticità del *facial motion tracking* riscontrate si segnala la difficoltà di attuazione del processo se applicato a particolari conformazioni della maschera, quali ad esempio le maschere con evidenti sproporzioni o con la bocca aperta. L'adattamento del modello alle proporzioni umane genererebbe infatti una consistenza non più affine alle fattezze originarie della maschera, definendosi come un falso, e dunque una strada non percorribile.

## BIBLIOGRAFIA

Bernabò Brea, L. (1981). *Menandro e il teatro greco nelle terracotte liparesi*. Genova: Sagep.

Cervellini, F., Rossi, D. (2011). Comunicare emozionando. L'edutainment per la comunicazione intorno al patrimonio culturale. In *DISEGNARECON*, pp. 48-55.

DiCultHer (8 novembre 2019). Educazione all'Eredità Culturale Digitale. Dalla Convenzione di Faro alla Carta di Pietrelcina. <https://www.diculther.it/blog/2019/11/08/educazione-alleredita-culturale-digitale-dalla-convenzione-di-faro-alla-carta-di-pietrelcina/> consultato il 19 maggio 2024.

Di Paolo, M. (2018) Educare al Patrimonio Culturale nell'era digitale. In *Bricks*, 8 (3), pp. 26-33.

Lampis, A. (2018). Ambienti digitali e musei: esperienze e prospettive in Italia. In A. Luigini, C. Pancioli (a cura di). *Ambienti digitali per l'educazione all'arte e al patrimonio*, pp. 11-16. FrancoAngeli: Milano.

Ministero della cultura, <https://dgeric.cultura.gov.it/educazione/piano-nazionale-per-leducazione-al-patrimonio/>, consultato il 19 maggio 2024.

Perissinotto A. (2020). *Raccontare. Strategie e tecniche di storytelling*. Editori Laterza: Bari.

Pizzo, A. (2003). *Teatro e mondo digitale, Attori, scena e pubblico*. Venezia: Marsilio.

Zaghi, K. (2018). *Visual merchandising. La comunicazione del punto vendita per dare valore all'esperienza del cliente*. Milano: FrancoAngeli.

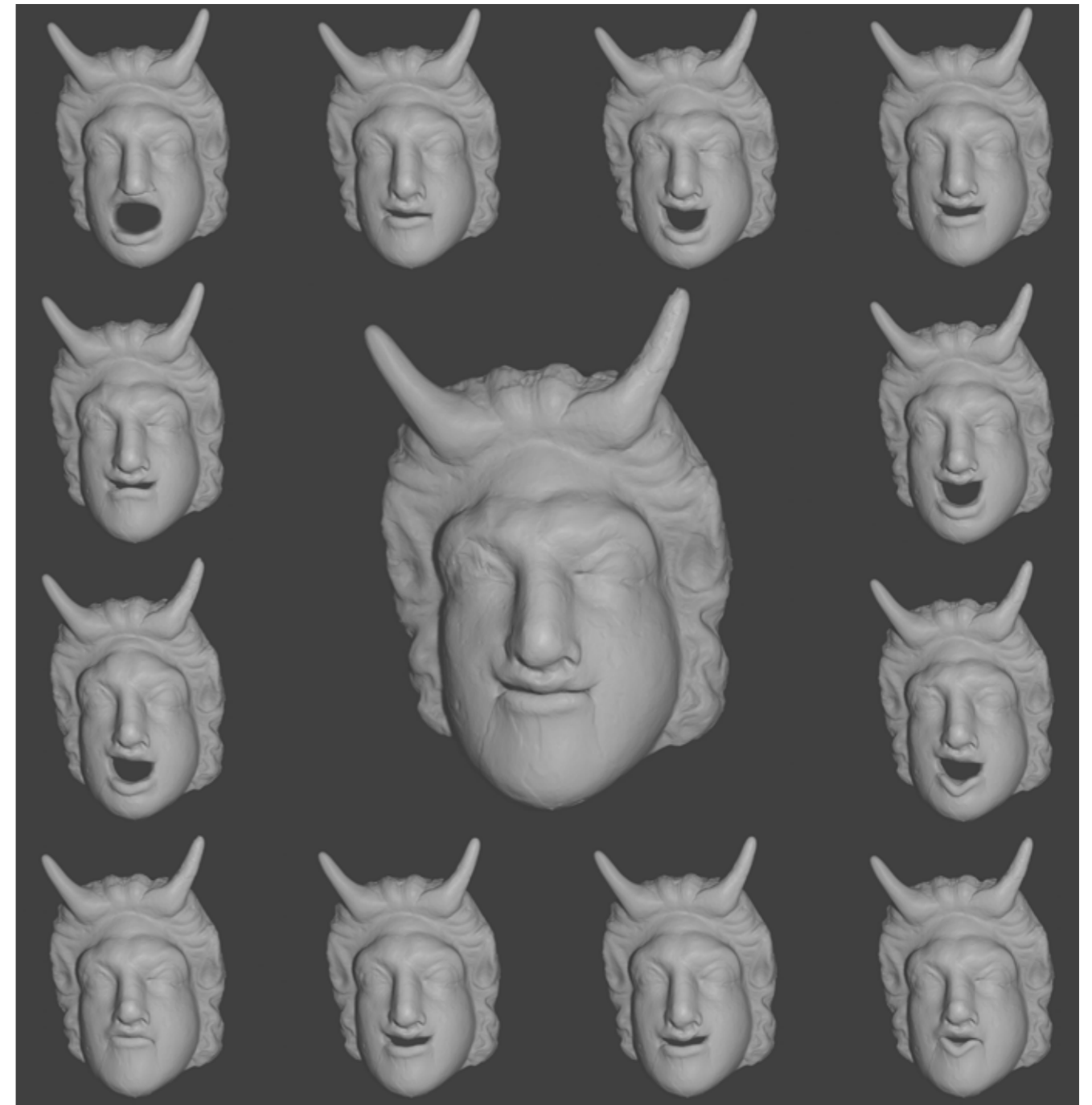


Fig. 8 - Facial motion capture: espressioni in 'maschera'. S. Mollica

# MODELLAZIONE PARAMETRICA PER LA RICOSTRUZIONE DELLE STRUTTURE DI COPERTURA DEL C.D. TEMPIO DI VENERE A BAIA

## PARAMETRIC MODELING FOR THE RECONSTRUCTION OF THE ROOFING STRUCTURES OF THE SO-CALLED TEMPLE OF VENUS IN BAIA

### AUTHOR

**Riccardo Florio<sup>1</sup>, Raffaele Catuogno<sup>1</sup>, Teresa Della Corte<sup>1</sup>, Anna Sanseverino<sup>1</sup>, Caterina Borrelli<sup>2</sup>, Victoria Ferraris<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Università degli Studi di Napoli Federico II; Dipartimento di Architettura – DiARC

<sup>2</sup>Università degli Studi di Salerno; Dipartimento di Ingegneria Civile – DICIV

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Córdoba; Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - FAUD

### EMAIL

[rflorio@unina.it](mailto:rflorio@unina.it);

[raffaele.catuogno@unina.it](mailto:raffaele.catuogno@unina.it);

[teresa.dellacorte@unina.it](mailto:teresa.dellacorte@unina.it);

[anna.sanseverino@unina.it](mailto:anna.sanseverino@unina.it);

[cborrelli@unisa.it](mailto:cborrelli@unisa.it);

[victoria.ferraris@unc.edu.ar](mailto:victoria.ferraris@unc.edu.ar)

## KEYWORDS

SCAN-TO-BIM

VPL

CUPOLE ADRIANEE

VOLTA A OMBRELLO

CAMPI FLEGREI

## ABSTRACT

Si presentano a seguire i primi risultati relativi alla ricostruzione parametrico-informativa delle strutture di copertura del c.d. Tempio di Venere a Baia e delle relative particolari strutture annesse sul versante sudoccidentale sulla base della documentazione bibliografica e le acquisizioni digitali effettuate in situ.

*The following presents the first results related to the parametric-informative reconstruction of the roofing structures of the so-called Temple of Venus in Baia and the related specific structures attached to the southwestern side, based on bibliographic documentation and digital data acquired on site.*

## INTRODUZIONE

La ricerca in fieri qui presentata è parte delle attività svolte nell'ambito dei progetti PRIN 2022 SPLASCH - Smart PLatform and Applications for Southern Cultural Heritage, CUP: 53D23013940006 - e PE 5 CHANGES - Cultural Heritage Active Innovation for Sustainable Society, CUP: E53C22001650006 - finanziati dall'Unione Europea - Next Generation EU. Tra gli obiettivi della ricerca, troviamo quindi la digitalizzazione finalizzata alla fruizione e disseminazione tramite piattaforme online e impiegando strumenti di mixed reality.

La comprensione finalizzata alla riproduzione digitale di elementi architettonici complessi le cui geometrie non sono quasi mai completamente "accessibili", rappresenta ancora oggi una sfida da affrontare integrando saperi multidisciplinari e tecnologie innovative. Allo scopo diventa indispensabile per la conoscenza e l'eventuale ricostruzione digitale degli ambienti voltati, l'impiego bilanciato dei dati del rilievo integrato [Bianchini, 2020], analisi statiche [Parent et al., 2023] e della documentazione d'archivio [Chiarenza et al., 2022].

In particolare, i casi studio oggetto di approfondimento nell'ambito della suddetta attività di ricerca sono stati identificati in ragione di un carattere identitario strettamente legato all'acqua, tra questi si distingue il complesso del parco archeologico delle terme di Baia nella città di Bacoli. Queste seguono nella loro disposizione le curve di livello del primo comune a nord-ovest della penisola flegrea e sono caratterizzate dalla presenza di tre distinte sale termali rinomate per le loro dimensioni e ardite tecniche costruttive adottate per la realizzazione delle relative coperture: il c.d. Tempio di Mercurio; il c.d. Tempio di Venere e il c.d. Tempio di Diana [Amalfitano et al., 1990; Rakob, 1992].

I Campi Flegrei presentano l'espressione più eclatante di un patrimonio esteso, saldamente integrato con gli usi antropici più diversi e recenti, mostrando una polverizzazione di istanze che talvolta ricadono all'interno dei confini della proprietà privata, la cui accessibilità è condizionata dalla disponibilità strettamente occasionale dei residenti, per cui molti sono i siti con scarsa diffusione e notevoli problemi di accessibilità. Sulla base quindi dei dati acquisiti durante la campagna di rilievo integrato, che impiega tecnologia TLS (Terrestrial Laser Scanning) e UAS (Unmanned Aerial System) [Florio et al.,

2020], sono state avviate attività di vettorializzazione, analisi delle matrici geometriche e conseguenti sperimentazioni di modellazione parametrico-informativa che si focalizzano, in questa prima fase sulle ardite strutture di copertura dei tre c.d. templi, finalizzate a una futura disseminazione e fruizione avanzata del sito.

In dettaglio, a valle di una prima un'analisi statico-geometrica di massima, effettuata sulla base delle sperimentazioni condotte da altri ricercatori [Mandelli et al., 2012; Radojevic, 2015; Roca et al., 2024], si è sviluppata a seguire una procedura parametrica ad hoc che permettesse di raffinare i risultati ottenuti attraverso una modifica dinamica delle geometrie ricostruite e ottenere così la configurazione in grado di approssimare al meglio la volumetria originaria e attuale dei suddetti sistemi di copertura.

Con il presente contributo si intende quindi presentare una possibile ricostruzione della copertura, definita "a spicchi" o "a ombrello" dell'adrianeo Tempio di Venere (Fig. 1) e del particolare complesso annesso a sud-ovest, a cui si accede da una nicchia diagonale e costituito in origine da almeno tre ambienti circolari raccordati da un ambiente in cui si alternano pareti concave e convesse [Rakob, 1961] (Fig. 2).

## CASO STUDIO: IL C.D. TEMPIO DI VENERE A BAIÀ

La datazione del monumento viene dedotta dagli studiosi per analogia delle rare caratteristiche architettoniche e decorative con quelle di alcune architetture in Villa Adriana a Tivoli [Jacobson, 1986]. Le prime tracce grafiche dell'impianto originario del tempio si possono far risalire a delle rappresentazioni di Giuliano da Sangallo (Fig. 2 - a), che riporta ancora, sebbene con eccessiva astrazione, la pianta dell'annesso sudoccidentale non più raffigurato nella sua interezza nelle tavole successive al XVII secolo [Rakob, 1961].

Questi ambienti, insieme al "truglio", come comunemente vengono definite le cupole Baiane, e il fronte meridionale del Tempio probabilmente crollarono in occasione del terremoto del 1538 e hanno quindi subito un progressivo processo di interrimento dovuto al bradisismo locale visibile soprattutto nella circolare aula centrale, di diametro pari a 26,30 m, che presenta un innalzamento del livello

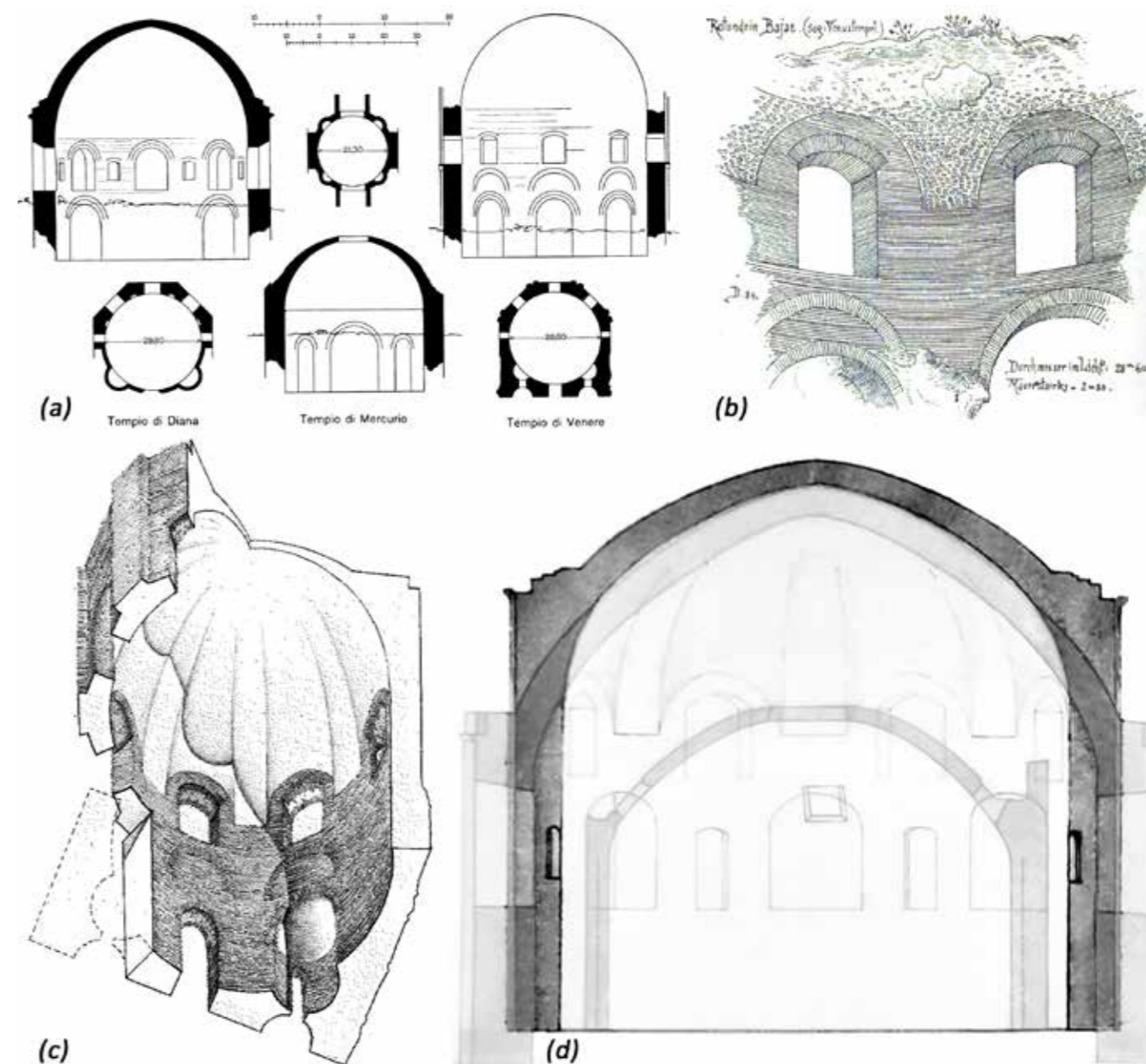


Fig. 1 - Ipotesi ricostruttive delle cupole dei c.d. Templi delle Terme di Baia proposte da (a) Kohle [1915] e (d) Rakob [1992]. Dettaglio dell'imposta della cupola secondo (b) Durm [1905] e ricostruzione del truglio del tempio di Venere secondo (c) De Angelis d'Ossat [1941].

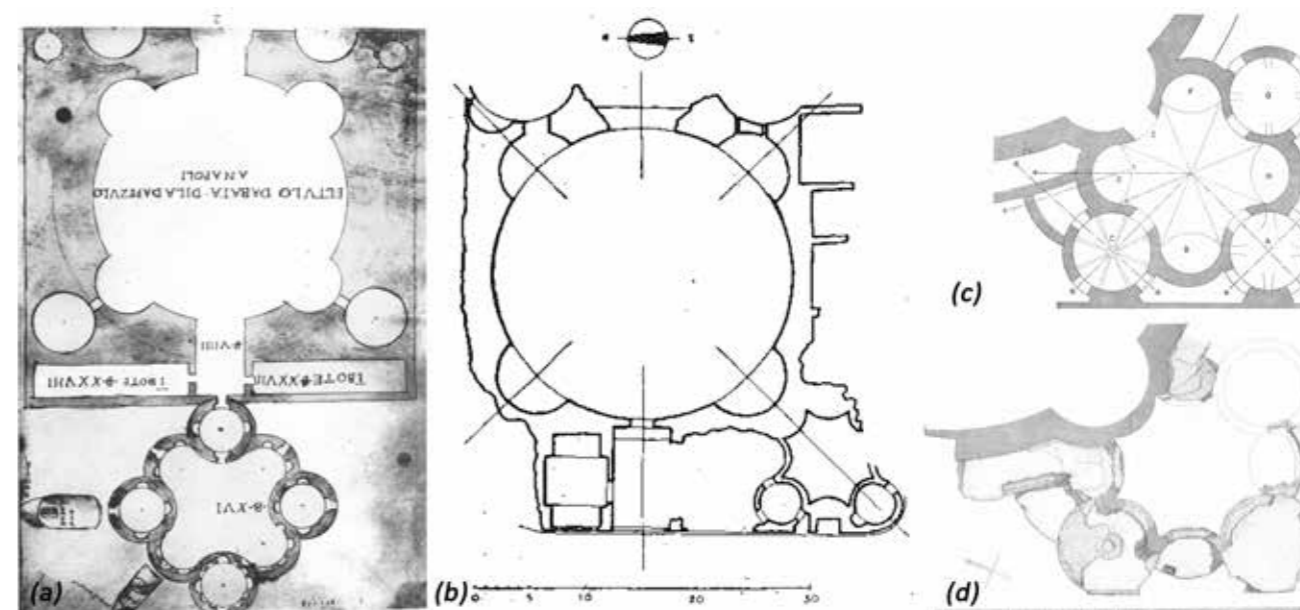


Fig. 2 - Ipotesi dello schema planimetrico del Tempio di Venere secondo (a) Giuliano da Sangallo [1961], a confronto con un rilievo proposto da (b) De Angelis d'Ossat [1941] e dettagli dell'ipotesi ricostruttiva (c) e rilievo dello stato di fatto effettuate da Rakob [1961].

di calpestio di circa 3 m rispetto al piano di campagna originario [De Angelis d'Ossat, 1941; Lanzarini, 2021] e un volume fuori terra che si eleva per circa 21 m. Tale matrice planimetrica viene articolata poi dall'inserimento di quattro absidi aperte verso l'interno e disposte radialmente così come i vani di otto grandi finestre ad arco ribassato posizionate superiormente e aperte nei lati dell'impianto ottagonale esterno. La fabbrica muraria in tufo giallo locale si presenta ancora oggi rivestita da laterizi murati con malta pozzolanica che ne regolarizza lo spessore ad una misura costante di 4,5 cm. Questa composizione regolare è intervallata ad archi di scarico a semplice ghiera che caratterizzano l'alto tamburo finestrato ottagonale sormontato da una cupola composta da 16 settori, la cui imposta si innalza alternativamente per formare 8 lunette [Durm, 1905; Kohte, 1915] con differente curvatura proprio in corrispondenza dei finestroni (Fig. 1 - b, c). Sebbene già completamente crollata all'epoca dei restauri di Maiuri [Maiuri, 1958], i resti della soluzione di copertura vengono quindi interpretati da questi - a conferma di quanto dedotto da De Angelis-D'Ossat prima di lui [De Angelis d'Ossat, 1941] - come una volta a 'conchiglia' o a 'ombrello', soluzione affine a quella adottata presso la villa Adriana situata nel parco archeologico di Tivoli.

I già menzionati ambienti sud-occidentali - di cui i rilievi più recenti riportano soltanto alcuni resti (Fig. 2 - c, d) - presentano ad ogni modo grande valenza compositiva arricchendo ulteriormente il perimetro esterno della grande sala termale [Rakob, 1961]; l'impianto di questi ambienti è generato dalla geometria di una serie di cerchi inscritti polarmente nella forma in un quadrato, formando una sala polilobata centrale e originanti tre ambienti curvilinei.

Notevoli gli accorgimenti costruttivi adottati come il condotto laterizio di discesa delle pluviali che corre lungo la mezzera degli speroni esterni, dove, inoltre, l'opus latericium si alterna a quello reticolatum in tuffelli di 7,5-8 cm [De Angelis d'Ossat, 1941; Rakob, 1988].

## MATERIALI E METODI

*"Papà, non sapevo che aspetto avesse il mondo, ma quando hai preso la mappa dalla rivista per ritagliarla, ho visto che sull'altro lato c'era la figura di un uomo. Allora ho girato i ritagli e ho iniziato a ricomporre l'uomo che sapevo come fosse fatto. Quando sono riuscito a rimettere insieme l'uomo, ho girato la pagina e ho visto che avevo rimesso a posto il mondo"*<sup>1</sup>[García Márquez, 2014].

A volte, per mettere insieme i pezzi di 'un'immagine' frammentata e poco conosciuta, è necessario 'ribaltarla', adottare criteri diversi dal solito e ricominciare dai pochi capisaldi che abbiamo. Di fatto, il patrimonio culturale, nella sua consistenza odierna, può spesso presentarsi come un 'pezzo di puzzle', nascondendo le tracce della forma originale, per cui solo con un approccio iterativo diventa possibile realizzare la replica digitale che gradualmente si adatti agli 'indizi' a disposizione.

La "Carta di Londra" [The London Charter, 2009] indica poi che è richiesta trasparenza e rigore metodologico nell'uso di modelli tridimensionali per il Cultural Heritage, mentre i "Principi di Siviglia" [Principles of Seville, December 2017] propongono l'implementazione dei criteri della carta di Londra per quanto riguarda l'archeologia virtuale.

Il principio di "Implementazione", ad esempio, segnala l'importanza di elaborare linee guida dettagliate e appropriate ad ogni comunità di studiosi [Brusaporci et al., 2013].

Il workflow assume quindi la stessa rilevanza dell'output in un'ottica di ripetibilità, mettendo in evidenza nuove modalità creative che si manifestano tanto nel prodotto visuale quanto nelle procedure che generano il modello in un delicato equilibrio che si può definire Disegno Digitale Esplicito (DDE) [Calvano, 2019].

L'automatizzazione, anche parziale, dei processi di digitalizzazione riguardante in particolare le fasi di modellazione e arricchimento informativo così come la specializzazione di geometrie complesse in oggetti

<sup>1</sup>"[...]Papá, yo no sabía cómo era el mundo, pero cuando sacaste el mapa de la revista para recortarlo, vi que del otro lado estaba la figura del hombre. Así, que di vuelta a los recortes, y comencé a recomponer al hombre, que sí sabía cómo era. Cuando conseguí arreglar al hombre, di vuelta a la hoja y vi que había arreglado al mundo." Estratto conclusivo di un racconto breve attribuito a Gabriel García Márquez.

architettonici, capisaldi della modellazione informativa di tipo BIM, richiede quindi uno sforzo principalmente orientato alla messa a sistema e semplificazione dell'approccio algoritmico (AIM) di volta in volta implementati [Calvano, 2019; Lo Turco et al., 2021].

Questo approccio concretamente ricomprende quindi tanto le fasi di automazione che adoperano script sviluppati con Visual Programming Language (VPL) quanto le relazioni instaurate con i modelli informativi, generando un processo ricorsivo orientato all'ottimizzazione di entrambi.

A seguire vengono pertanto esplicitati i passaggi logici dell'algoritmo implementato (Fig. 3) [Sanseverino, 2024]; in ragione dei numerosi parametri individuati diventa possibile regolare - ottenendo una risposta quasi istantanea - la volumetria dei sistemi di copertura oggetto di studio, avvicinandosi man mano alla configurazione che meglio approssima i dati raccolti.

## L'APPROCCIO ALGORITMICO ESPLICITO

Numerose sono le esperienze riportate in letteratura inerenti all'analisi geometrica finalizzata alla comprensione dei sistemi di copertura voltati [Antista et al., 2024; Bianchini, 2020; Iannizzaro et

al., 2012; Rossi et al., 2020] spesso finalizzata alla digitalizzazione di tipo informativo con approccio parametrico [Fabrizio Natta, 2023; Spallone et al., 2022], talvolta impiegando in aggiunta componenti di tipo adattativo [Angjeliu et al., 2019; Dell'Amico et al., 2023].

Momento propedeutico alla progettazione degli algoritmi impiegati per riprodurre digitalmente le volte a ombrello caratteristica distintiva del c.d. Tempio di Venere ha riguardato l'approfondimento delle analisi geometrico-matematiche condotte da altri studiosi circa la genesi di questo particolare tipo di struttura voltata, focalizzandosi in particolare sulle coeve volte a ombrello quali quella di villa Adriana a Tivoli [Cipriani et al., 2020; Roca et al., 2024] e sulla medievale copertura della cappella Pazzi a Santa Croce a Firenze [Mandelli et al., 2012; Radojevic, 2015].

Operativamente lo script messo a punto (Fig. 3) [Sanseverino, 2024] permette in prima istanza di realizzare in negativo la geometria dell'intradosso della cupola a ombrello (Fig. 3 - B1) nell'origine degli assi, creando il singolo spicchio veloidico poi replicato e ruotato rispetto all'asse della cupola (Fig. 3 - B2). Il volume 'in negativo' dell'intradosso viene quindi traslato nelle coordinate reali (Fig. 3 - C), in

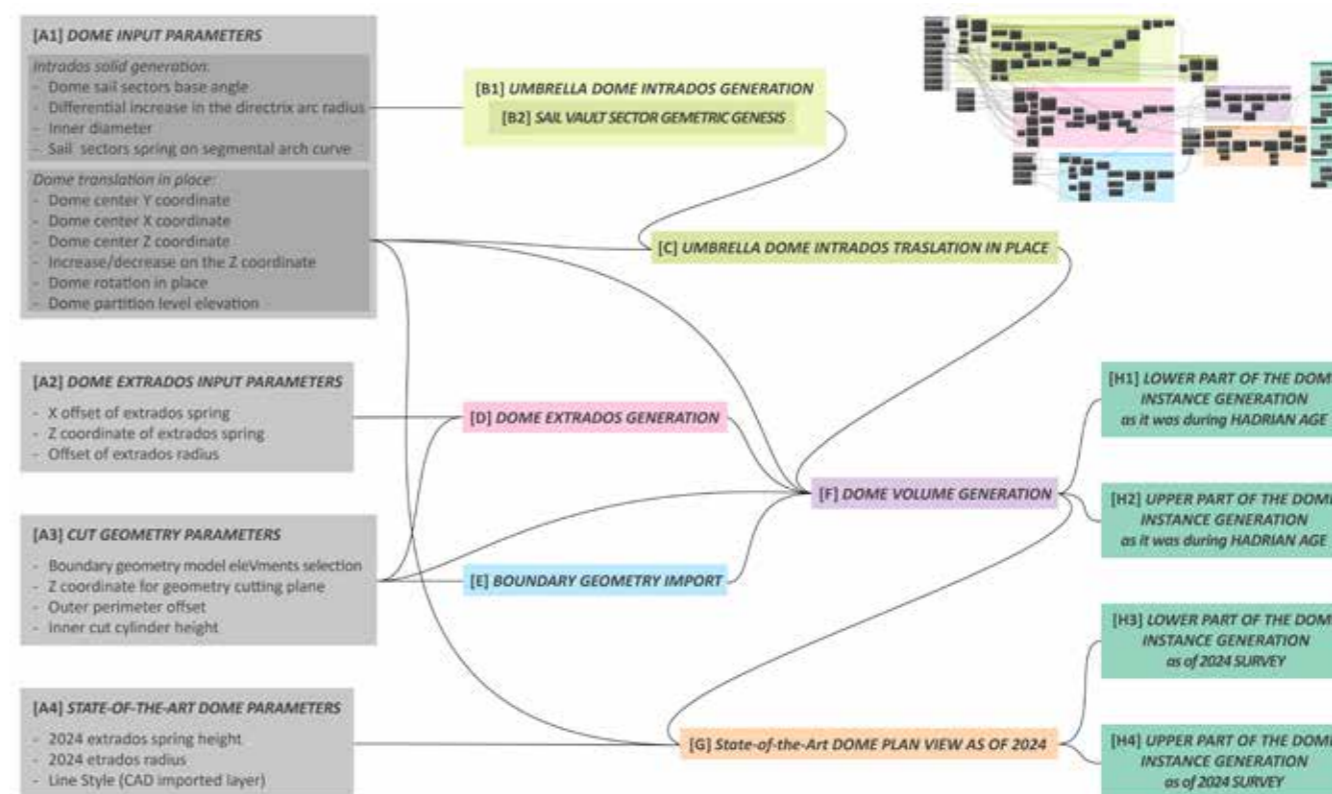


Fig. 3 - Workflow riassuntivo dello script VPL sviluppato ad hoc per la generazione delle cupole a ombrello (elaborazione propria).

corrispondenza delle mura perimetrali modellate in ambiente Revit e importate in Dynamo (Fig. 3 - E) e dell'estradosso della cupola generato in situ (Fig. 3 - D).

Attraverso una serie di operazioni booleane di unione e sottrazione viene quindi generato il volume effettivo della cupola (Fig. 3 - F) nella sua configurazione originaria, che integrato con il profilo attuale in CAD ottenuto dal rilievo integrato condotto di recente, permette di generare tanto le istanze BIM relative alle varie epoche storiche (Fig. 3 - H), quanto quella relativa allo stato di conservazione attuale.

Nel dettaglio, la geometria all'intradosso della cupola a ombrello viene realizzata nell'origine (Fig. 3 - B1) a partire dal singolo spicchio (Fig. 3 - B2) come estrusione di un arco generatore (AM'B) lungo una curva direttrice (O'M'Q). Come illustrato in Fig. 4 in prima istanza, sono stati fissati i seguenti parametri:

- Il raggio della sfera che sottende alla cupola ( $OM = OO' = PN$ ), a cui appartengono i costoloni che si creano all'intersezione tra gli spicchi.
- L'angolo corrispondente al settore circolare  $A\hat{O}B = \alpha$ , posto pari a 22,5 gradi nel caso della cupola della grande sala centrale costituita da 16 spicchi alternativamente sferici e veloidici.

L'incremento  $\Delta = NQ$  rispetto al raggio della sfera utilizzato per disegnare l'arco direttore, il cui centro si trova allineato con l'origine degli assi a una distanza, lungo l'asse zeta,  $OP = \Delta$  così da preservare la coincidenza tra le cuspidi delle cupole.

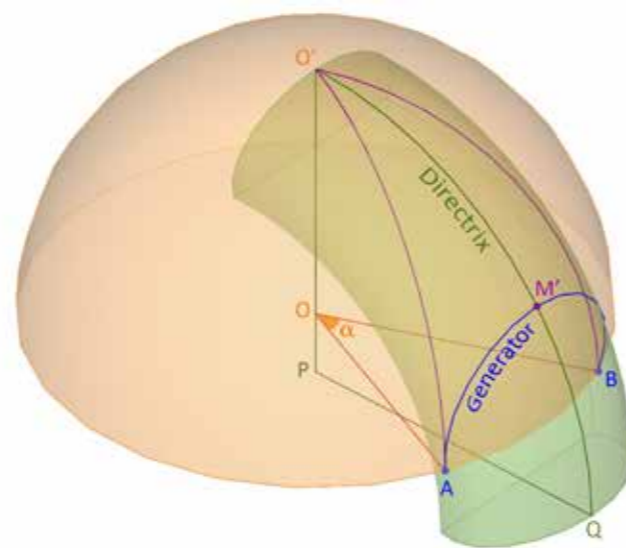
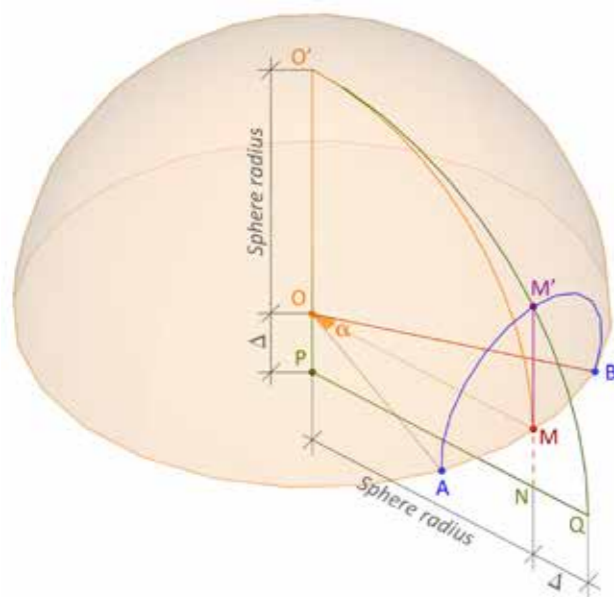


Fig. 4 - Schema grafico che illustra la costruzione del singolo spicchio veloidico (elaborazione propria).

L'arco generatore è stato invece disegnato raccordando i punti A, M' e B, essendo A e B gli estremi dell'arco di circonferenza che sottende l'angolo all'imposta dell'ideale cupola emisferica, mentre M' individua all'intersezione tra la retta verticale passante per M - punto medio dell'arco AB - e l'arco direttore O'Q. All'aumentare quindi dell'incremento  $\Delta (= NQ = OP)$  aumenta anche la distanza (MM'), mentre per  $\Delta \rightarrow 0$  anche (MM')  $\rightarrow 0$ .

Una volta determinata la geometria direttrice e generatrice si effettua un'estrusione su percorso (sweep) dell'arco AM'B lungo O'M'Q. Dall'intersezione tra la superficie modellata e la sfera sottesa alla cupola a ombrello si individua lo spicchio veloidico ricercato, duplicato poi 'n' volte ruotandolo rispetto all'asse verticale passante per l'origine degli assi O.

Operando piccole modifiche allo script sviluppato è stato quindi possibile realizzare tanto la copertura della grande sala centrale del c.d. Tempio di Venere, quanto la ricostruzione di quella della sala polilobata e degli ambienti annessi. Se la copertura della sala centrale, impostata sull'alto tamburo finestrato, era costituita da 16 spicchi misti, si ipotizza - sulla base dei rilievi effettuati (Fig. 5) integrati con le fonti documentali [De Angelis d'Ossat, 1941; Durm, 1905; Kohte, 1915; Rakob, 1961, 1992] - che la volta della sala polilobata che raccorda gli ambienti sud-occidentali fosse costituita da 8 spicchi uniformi, mentre le piccole sale circolari risultavano ancora una volta coperte da volte a ombrello costituite da 8 o 4 spicchi, essendo quest'ultime assimilabili a volte a crociera a montatura rialzata (Fig. 6 e 7).



Fig. 5 - Ortoimmagine da nuvola di punti TLS del prospetto meridionale del c.d. Tempio di Venere (elaborazione propria).



Fig. 6 - Visualizzazione in ambiente Autodesk Revit delle coperture degli ambienti sud-occidentali generati tramite gli script sviluppati in ambiente Dynamo (elaborazione propria).

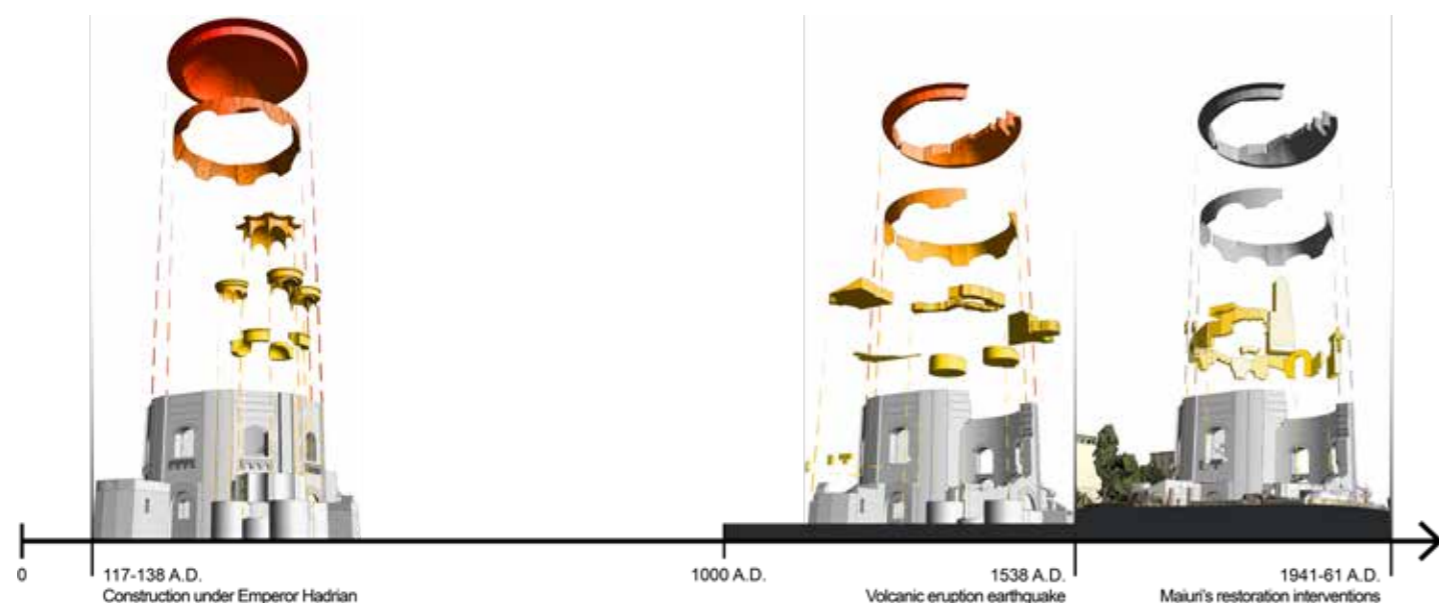


Fig. 7 - Linea del tempo riassuntiva delle principali configurazioni identificate per la fabbrica storica del c.d. Tempio di Venere (elaborazione propria).



Fig. 8 - Photobashing del processo di modellazione: dal modello discreto e continuo del rilievo alla rappresentazione BIM e sperimentazione di modelli adattativi per la riproduzione dei 'segni' degradati del tempo (elaborazione propria).

Al fine di ottenere un modello BIM del c.d. Tempio di Venere che ne descrivesse le diverse configurazioni assunte attraverso i secoli (Fig. 7), oltre a permettere di generare le coperture ricostruite, l'algoritmo implementato consente di generarne anche l'ingombro attuale 'leggendo' i profili vettoriali che rappresentano lo stato di conservazione odierno per sottrarre alle volumetrie originarie le parti crollate. In particolare, per la cupola dell'aula termale centrale sono state modellate quattro istanze, le prime (Fig. 3 - H1 e H2, Fig. 7) relative alle due sezioni costruttive in cui è possibile dividere la volumetria originaria della grande cupola a ombrello mentre le seconde (Fig. 3 - H3 e H4, Fig. 7) rappresentano le stesse sezioni costruttive ad oggi. Si è di fatto riscontrata una differenza nella tecnica costruttiva impiegata per l'imposta della cupola fino al colmo delle mura perimetrali, realizzata in blocchetti di tufo, e la parte superiore messa in opera con mattoni in laterizio; in entrambi i casi i conci sono allettati con malta pozzolanica.

Si è infine sperimentata la realizzazione di famiglie adattative essenzialmente realizzate come superfici con spessore parametrico capaci di assumere una configurazione tridimensionale complessa in funzione degli oggetti a cui si 'agganciano' i punti di controllo perimetrali per la modellazione delle tracce di intonaco rimanenti (Fig. 8).

## CONCLUSIONI

Inquadrate nell'ambito del Piano Nazionale di Digitalizzazione (PND) italiano, l'apertura della modellazione di tipo informativo, sia questa di tipo BIM (Building Information Modelling) o GIS (Geographic Information System) [Grimaldi et al., 2022; Parrinello et al., 2023] al patrimonio storicizzato, in particolare a quello archeologico, diventa di particolare importanza per la realizzazione di sistemi di gestione efficienti. Questo patrimonio ci perviene spesso frammentato, talvolta in stato di abbandono o addirittura di rovina, per cui la ricerca di soluzioni rapide e ottimizzate finalizzate alla rappresentazione di tale complessità diventa imprescindibile per la realizzazione di quello che in quanto modello tridimensionale 'informato' diventa interfaccia semplificata per l'accesso a un archivio digitale opportunamente organizzato in cui la documentazione relativa ad ogni singolo componente e a distanza di un click.

## BIBLIOGRAFIA

Amalfitano, P., Camodeca, G., & Medri, M. (1990). *I Campi Flegrei: un itinerario archeologico* (1. ed.). Marsilio.

Angjeliu, G., Cardani, G., & Coronelli, D. (2019). A parametric model for ribbed masonry vaults. In *Automation in Construction*, 105, 102785. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.006>

Antista, A., Morena, S., & Mifsud, C. (2024). A Geometric Analysis of Masonry Sail Vaults at the Magistral Palace, Valletta, for the Study of Maltese Stereotomy. In *Nexus Network Journal*, 26(3), 485-499. <https://doi.org/10.1007/s00004-024-00783-y>

Bianchini, C. (2020). A Methodological Approach for the Study of Domes. In *Nexus Network Journal*, 22(4), 983-1013. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00526-9>

Brusaporci, S., & Trizio, I. (2013). La 'Carta di Londra' e il Patrimonio Architettonico: riflessioni circa una possibile implementazione. In *SCIRES-IT. SCientific REsearch and Information Technology Ricerca Scientifica e Tecnologie Dell'Informazione*, 2, 55-68. <https://doi.org/10.2423/i22394303v3n2p55>

Calvano, M. (2019). *Disegno digitale esplicito. Rappresentazioni responsive dell'architettura e della città*. Aracne.

Chiarenza, S. & Messina, B. (2022). Il disegno come antefatto grafico della costruzione. Volte e cupole nella manualistica europea tra '700 e '800. *XIX Congresso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. <https://doi.org/10.31428/10317/11243>

Cipriani, L., Fantini, F., & Bertacchi, S. (2020). Composition and Shape of Hadrianic Domes. In *Nexus Network Journal*, 22(4), 1041-1061. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00514-z>

De Angelis d'Ossat, G. (1941). Il "Tempio di Venere" a Baia. In *Bullettino del Museo dell'Impero Romano*: Vol. XII (pp. 121-132). Stabilimento Tipografico Ditta Carlo Colombo.

Dell'Amico, A., Sanseverino, A., & Albertario, S. (2023). Point Cloud Data Semantization for Parametric Scan-to-HBIM Modeling Procedures. In A. Giordano, M. Russo, & R. Spallone (Eds.), *Beyond Digital Representation. Digital Innovations in Architecture, Engineering and Construction* (pp. 515-533). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-36155-5\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-031-36155-5_33)



Durm, J. (1905). *Die Baukunst der Römer*. <https://hdl.handle.net/2027/hvd.32044027043991>

Fabrizio Natta. (2023). Modellazione, analisi e interpretazione di una volta a padiglione adattiva in Visual Programming Language/Modelling, Analysis and Interpretation of an Adaptive Cloister Vault in Visual Programming Language. In M. Cannella, A. Garozzo, & S. Morena (Eds.), *Transizioni / Transitions. Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers* (pp. 1752–1765). FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/oa-1016-c376>

Florio, R., Della Corte, T., Catuogno, R., Marino, V., & Di Lauro, A. V. (2020). Architettura archeologia per il rilievo integrato, il caso esemplare di Cuma: le Terme del Foro Archeology Architecture for the Integrated Survey, the Exemplary Case of Cuma: the Foro Thermal Baths. In A. Arena, M. Arena, R. G. Brandolino, D. Colistra, G. Ginex, D. Mediat, S. Nucifora, & P. Raffa (Eds.), *Connettere. Un disegno per annodare e tessere. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione* (pp. 2182–2203). FrancoAngeli.

García Márquez, G. (2014). *Arreglar el mundo*. Retrieved 13 May 2024, from <https://it.scribd.com/document/413186097/Garcia-Marquez-Arreglar-El-Mundo>

Grimaldi, M., Giordano, C., Graziuso, G., Barba, S., & Fasolino, I. (2022). A GIS-BIM Approach for the Evaluation of Urban Transformations. A Methodological Proposal. In *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 18, 247–254. <https://doi.org/10.37394/232015.2022.18.26>

Iannizzaro, V., Barba, S., Messina, B., d'agostino, P., & Fiorillo, F. (2012, August). The domes of the Amalfi Coast: survey and digital representation of complex shapes. In *Domes in the World*.

Jacobson, D. (1986). Hadrianic Architecture and Geometry. In *American Journal of Archaeology*, 90(1), 69–85.

Kohte, J. (1915). Die Baukunst des Klassischen Altertums und ihre Entwicklung in der mittleren und neueren Zeit. In *Vieweg+Teubner Verlag*. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-98906-2>

Lanzarini, O. (2021). I 'trugli' dei bagni di Pozzuoli. Immagine e fortuna di due edifici termali antichi. In *Lexicon*, 33, 7–19. <https://doi.org/10.17401/lexicon.33.2021-lanzarini>

Lo Turco, M., Calvano, M., Giovannini, E. C., & Tomalini, A. (2021). AIM! Algorithmic Information Modeling: New Strategies for a Fully Integrated Approach in the Field of Cultural Heritage.

In C. Bolognesi & D. Villa (Eds.), *From Building Information Modelling to Mixed Reality* (pp. 143–156). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49278-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49278-6_9)

Maiuri, A. (1958). *I Campi Flegrei. Roma: Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Libreria dello Stato.

Mandelli, E., Bigagli, M., Lavoratti, G., Musto, V., Parrinello, S., Salemi, P., Tiefenthaler, M., Aiello, L., Ciannavei, M., Odolini, C., D'Amico, S., Galeotti, G., Ganghereti, E., Grillotti, F., & Iurilli, S. (2012, August). Brunelleschi's domes in Florence. In *Domes in the World*.

Parent, T., Brocato, M., Colas, A.-S., Domede, N., Dubois, F., Garnier, D., Gros, A., Mindeguia, J.-C., Morel, S., Morenon, P., Nougayrede, P., & Taforel, P. (2023). A multi-model structural analysis of the vaults of Notre-Dame de Paris Cathedral after the 2019 fire and a proposal for a hybrid model merging continuum and discrete approaches. In *Journal of Cultural Heritage*. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.05.009>

Parrinello, S., & Picchio, F. (2023). Digital Strategies to Enhance Cultural Heritage Routes: From Integrated Survey to Digital Twins of Different European Architectural Scenarios. In *Drones*, 7(9), 576. <https://doi.org/10.3390/drones7090576>

Principles of Seville. International Principles of Virtual Archaeology. Ratified by the 19th ICOMOS General Assembly in New Delhi, December 2017 (2017). <http://sevilleprinciples.com/>

Radojevic, N. (2015). La concoide del toro della Cappella Pazzi a Firenze. Alcuni aspetti costruttivi. In *DISEGNARECON*, 8(15), 7.1-7.12. <https://doi.org/10.13140/2.1.1124.1765>

Rakob, F. (1961). Litus beatae Veneris aureum. Untersuchungen am Venustempel in Baiae. In *Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts. Römische Abteilung* (Vol. 68, pp. 114–149). Verlag Philipp von Zabern.

Rakob, F. (1988). Römische-Kuppelbauten in Baiae. Die Gewölbepprofile. In *Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts. Römische Abteilung* (Vol. 95, pp. 257–301). Verlag Philipp von Zabern.

Rakob, F. (1992). Le cupole di Baia. In M. Gigante (Ed.), *Civiltà dei Campi Flegrei. Atti del convegno internazionale* (pp. 229–258).

Roca, A., Juan-Vidal, F., Cipriani, L., & Fantini, F. (2024). On Vaulting: Heron's Manuals and Their Role in Roman Dome Design.

In *Nexus Network Journal*. <https://doi.org/10.1007/s00004-024-00771-2>

Rossi, C., & Fiorillo, F. (2020). The Vaults of Umm al-Dabadiib: Geometric Study. In *Nexus Network Journal*, 22(4), 1063–1080. <https://doi.org/10.1007/s00004-020-00532-x>

Sanseverino, A. (2024). VPL Script For Umbrella Dome Generation (V1). In *Zenodo*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.13318591>

Spallone, R., & Calvano, M. (2022). Parametric Experiments on Palladio's 5 by 3 Villas. In *Nexus Network Journal*, 24, 287–313. <https://doi.org/10.1007/s00004-022-00592-1>

The London Charter. For the Computer-Based Visualization of Cultural Heritage, Version 2.1 (2009). <https://londoncharter.org/>

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano: il Direttore dell'Ufficio Tutela e Gestione delle Aree Archeologiche, dei Monumenti e delle Collezioni del Parco Archeologico dei Campi Flegrei Dott. F. Pagano, la responsabile del Museo Archeologico dei Campi Flegrei nel Castello di Baia Arch. M.P. Cibelli, la responsabile del Parco Archeologico delle Terme di Baia Arch. A. Klein, il responsabile del Parco Sommerso e delle Terme di Baia Dott. E. Gallochio per aver autorizzato e favorito le operazioni di rilievo del Parco Archeologico delle Terme di Baia e l'Ing. A.G.E. Florio per il supporto fornito nei rilievi aerofotogrammetrici.

# HERRAMIENTAS BIM EN LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA: EL CASO CASA DEL ARROYO

## BIM TOOLS IN PUBLIC ADMINISTRATION: THE CASE OF CASA DEL ARROYO

### AUTHOR

Guillermo Frontera<sup>1</sup>, Diego A. Rojas<sup>1</sup>, Priscila Ibañez Giardelli<sup>1</sup>, Marcelo Marcev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dirección Nacional de Arquitectura de la República Argentina

### EMAIL

gfrontera@infraestructura.gob.ar;  
pigiardelli@infraestructura.gob.ar;  
drojas@infraestructura.gob.ar;  
mmarcev@infraestructura.gov.ar

## KEYWORDS

HBIM  
CASA SOBRE EL ARROYO  
PATRIMONIO MAR DEL PLATA  
DNA ARGENTINA  
PATRIMONIO ARGENTINA

## ABSTRACT

En el marco del Congreso Internacional 3D MODELING&HBIM y en el tópico sobre la aplicación de herramientas BIM en la administración pública, el presente trabajo abordará y analizará la experiencia en el proceso de realización del proyecto de intervención para la restauración y puesta en valor del edificio Casa sobre el Arroyo, declarado Monumento Histórico Nacional de la República Argentina. Durante la realización del proyecto de intervención se han usado herramientas de dibujo CAD y herramientas BIM a fin de que ambos sistemas se compensen frente a la necesidad concreta de desarrollar la documentación licitatoria, documentación la cual es contractual y regida por la Ley de Obra Pública nacional 13.034/47.

*In the context of the 3D MODELING & HBIM International Congress and the topic on the application of BIM tools in public administration, this paper will address and analyze the experience in the process of carrying out the intervention project for the restoration and enhancement of the Casa sobre el Arroyo building, declared a National Historic Monument of the Argentine Republic. During the development of the intervention project, CAD drawing tools and BIM tools have been used so that both systems complement each other in response to the specific need to develop the tender documentation, which is contractual and governed by the National Public Works Law 13.034/47.*

## INTRODUCCIÓN

La Dirección Nacional de Arquitectura, creada por ley 13313/45 es un organismo público de la administración gubernamental de la República Argentina, es la evolución de organismos previos que se dedicaban a la administración de obras públicas tales como la Dirección General de Arquitectura, o Dirección de Arquitectura. Dicho organismo tiene la misión de "Entender, en la Planificación, Proyecto, dirección y control de las actividades destinadas a la construcción de Edificios Fiscales, Infraestructura, Espacios Publica y la Restauración, Conservación, Preservación y Mantenimiento de Monumentos Históricos Nacionales."

Mediante la Ley 12.665/40 de 1940 conocida como Ley de Monumentos Históricos se crea la Comisión Nacional de Monumentos Históricos organismo que custodia los Monumentos Históricos Nacionales los cuales cuentan con declaratoria mediante Decreto Presidencial. En esa misma ley, se asigna a la Dirección General de Arquitectura (hoy DNA) con la finalidad de ser el organismo encargado de desarrollar los proyectos y dirección obras de restauración y puesta en valor de los Monumentos Históricos Nacionales

La Dirección Nacional de Arquitectura<sup>5</sup> ha intervenido en edificios tales como Casa de Gobierno de la Nación "Casa Rosada", Basílica Nuestra Señora de Luján (Luján, Provincia Buenos Aires), Iglesia San Ignacio de Loyola (CABA), Iglesia Nuestra Señora de la Merced (CABA), Iglesia San Francisco (CABA), Catedral Metropolitana (CABA) Ruinas Jesuíticas San Ignacio Mini (Provincia Misiones), CCK (CABA), Monumento Nacional a la Bandera (Rosario, Provincia Santa Fe) Edificio Ex MOP "Mural Evita" (CABA) Misiones Jesuíticas entre muchas otras.

Es en este contexto, la Dirección Nacional de Arquitectura a lo largo de los años ha evolucionado en capacitación y en el uso de nuevas herramientas de para la representación y estudios de los edificios a intervenir con el objetivo de optimizar los recursos.

## MANIFESTACIÓN MODERNA EN ARGENTINA

La Casa sobre el Arroyo<sup>6</sup>, también conocida como "Casa del Puente", fue diseñada y construida por los arquitectos Amancio Williams y Delfina Gálvez de Williams entre 1943 y 1946 (durante la Segunda Guerra Mundial) en la ciudad costera de Mar del Plata, a 400km al sur de la ciudad de Buenos Aires. Es una casa de 510m2 situada en un predio natural de 20.000m2 al cual lo cruza un pequeño arroyo llamado "Las Charcas" parte fundacional de la ciudad de Mar del Plata la cual creció a su vera. La casa fue diseñada para el músico Alberto Williams, padre de Amancio. Si bien el interés por un nuevo lenguaje arquitectónico comenzó de la mano de Victoria Ocampo, quien conociendo la obra de Le Corbusier ensayo la construcción de una casa moderna en los años 1927 con rasgos duramente racionalistas, con un constructor de galpones a quien daba indicaciones para construirla. Un segundo encargo de Victoria Ocampo, esta vez al arquitecto Alejandro Bustillo a quien convenció de hacerla con lenguaje moderno, se convirtió en la primera casa moderna racionalista de Argentina, situada en Buenos Aires, es un exponente del lenguaje moderno que aún se conserva. Estos primeros ejemplos son aproximaciones a lo que ya de manera acabada, se manifestara con la obra de Amancio Williams y Delfina Bunge. La relación de amistad entre Le Corbusier y Amancio Williams fue muy fluida, así contaba Amancio su acercamiento a la arquitectura de Le Corbusier: "Y fue por una casualidad, por una conversación circunstancial. Y me interesó. Recién allí supe que había estado en Buenos Aires en 1929 y que había dado una serie de conferencias que se habían publicado después en un libro 'Precisions', junto a las conferencias que diera en Montevideo. Le pregunté a varios profesores sobre Le Corbusier. Nadie sabía nada, nadie recordaba nada y eso que no había pasado mucho tiempo" (WILLIAMS, A. Revista La Opinión, Buenos Aires, 28-11-1976.)

<sup>5</sup> Fue creada por la Ley 31.313/45 Previamente se llamó Departamento de Ingenieros Civiles y su Inspección de Arquitectura, creada por la Ley n° 757 de 1875 Dirección General de Arquitectura en 1906

<sup>6</sup> MONUMENTO HISTORICO NACIONAL - Icono de la arquitectura moderna a nivel internacional. - Ley 13.599: Patrimonio Cultural, Histórico, Arquitectónico y Ambiental de la Provincia de Buenos Aires - Ordenanza 10.075: Interés Patrimonial, Cultural, Natural por parte de la Municipalidad de General Pueyrredón - Decreto 262 del 20 de marzo de 1997: Monumento Histórico Artístico Nación. (139948)-MHN Casa del Puente- Casa sobre el Arroyo- Ubicada en la calle Funes 3698. Ciudad de Mar del Plata. Partido de Gral. Pueyrredón. Provincia de Buenos Aires.

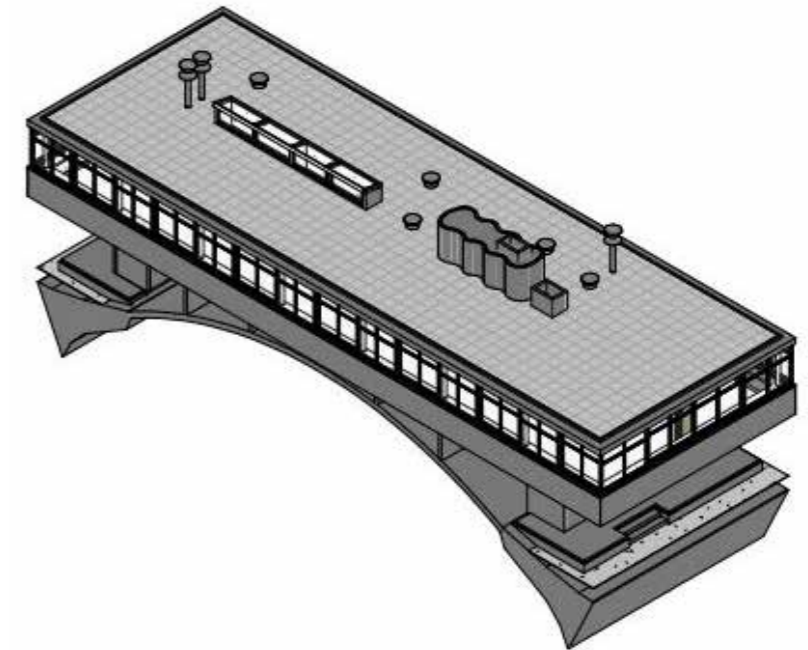


Fig. 1 - Visualización del modelo paramétrico de la casa.

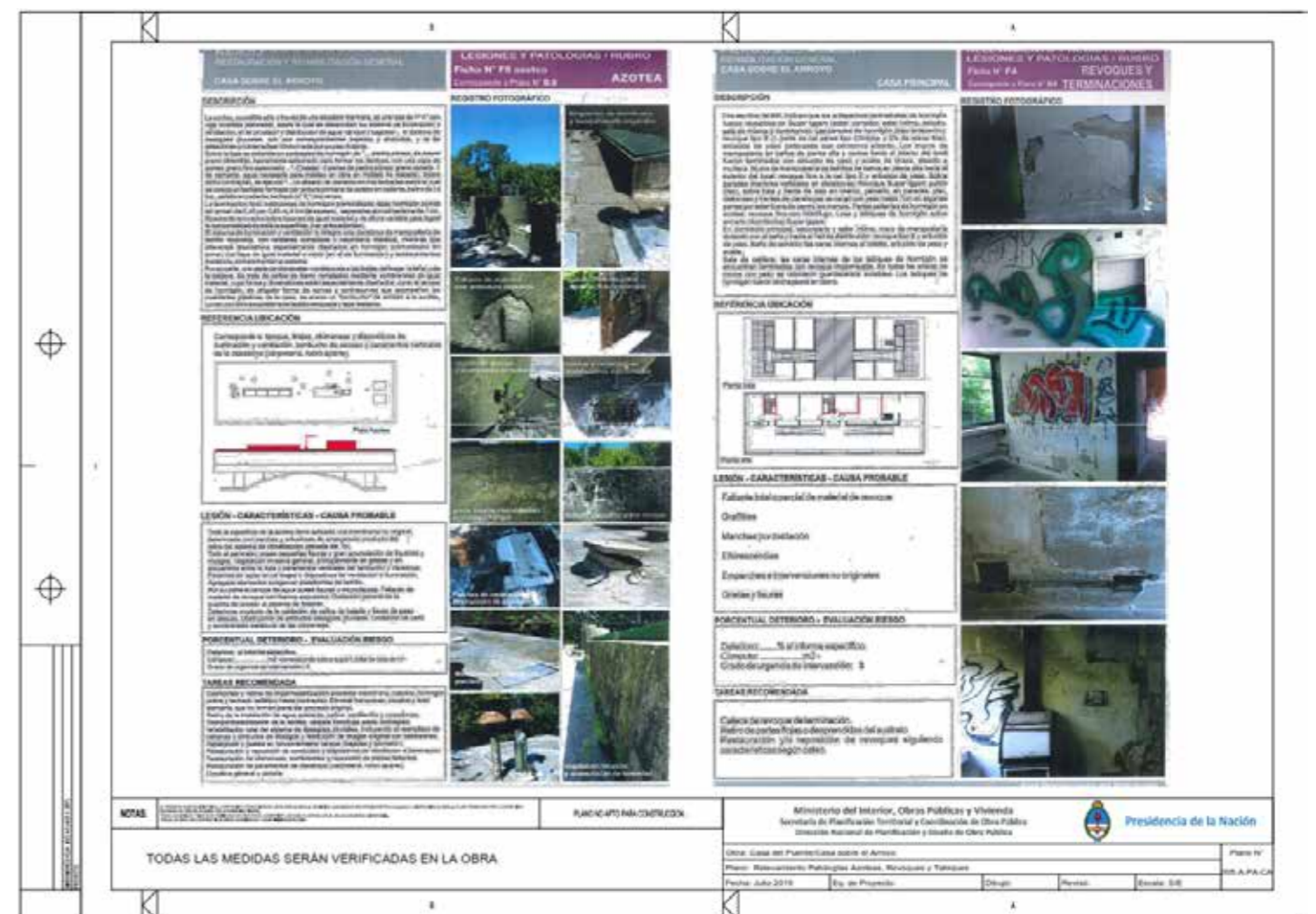


Fig. 2 - Mapeo de patología

Esa relación se forjó aún más mediante el encargo a Amancio Williams para la dirección de la obra "Casa Curutchet" en la Ciudad de La Plata Provincia de Buenos Aires, obra diseñada por Le Corbusier, única en Latinoamérica. EL conocimiento del lenguaje de la arquitectura moderna y la correspondencia con Le Corbusier, son lazos fuertes que Amancio Williams y Delfina Bunge tenían con la vanguardia y se manifiestan en el diseño de la "Casa sobre el Arroyo".

La casa fue diseñada como casa-estudio para el músico Alberto Williams y como fuente inspiradora: la naturaleza. El arroyo y los árboles formaban una biodiversidad muy rica en fauna y flora silvestre. Se usó como casa de veraneo hasta 1952, año de fallecimiento de Alberto Williams. A partir de 1968 la casa la adquiere el empresario Héctor Lago Beitía luego de ganar la licitación de la emisora de radio LU9 Radio Mar del Plata, la cual funcionó entre 1970 a 1977. En esos años la casa funcionó como estudio de radio forjando la frase "Desde la casa del puente, un puente hasta su casa". En el año 1991 Héctor Lago Beitía muere y allí comienza un largo proceso de sucesión que dura aproximadamente 13 años, período en el cual se deja de costear el mantenimiento y tutela, lo que posibilitó el ingreso de vándalos. En esa etapa sustraen todo el mobiliario y equipamiento, pintan las paredes con grafitis, rompen los vidrios de las ventanas y se provocan dos incendios. El segundo incendio tuvo lugar en el año 2004 y destruyó la carpintería y el equipamiento de más de la mitad de la casa. Finalmente, en el 2005, la Municipalidad de General Pueyrredón suscribe un convenio con el entonces administrador provisorio, señor Juan José Lago. En dicho acuerdo la municipalidad pasa a tutelar la propiedad. En el año 2016 se encomendó la restauración y puesta en valor del monumento histórico Casa sobre le Arroyo para lo cual el equipo de patrimonio de la Dirección Nacional de Arquitectura comenzó las tareas de relevamiento y evaluación del caso para desarrollar el proyecto de restauración. El proyecto implica una valoración en términos de lenguaje arquitectónico y también en términos tecnológicos constructivos. Si bien existen planos de proyecto originales de archivo, en la práctica, tanto el relevamiento de dimensiones para su constatación como el relevamiento del estado se hizo de manera organoléptica con mediciones in situ de manera tradicional, necesitando accesibilidad a áreas en altura mediante escalera y otros medios. Lo relevado y estudiado se dibujó en Auto Cad.

## PROGRAMA SIBIM- SISTEMA DE IMPLEMENTACIÓN BIM EN EL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

Con el objetivo de construir mejor, construir más y con eficiencia de recursos, SIBIN tenía como objetivo general desarrollar un conjunto ordenado de principios y procedimiento que regularan y establecieran la metodología de trabajo en las áreas interesadas en implementar procesos y mejores prácticas de BIM. En ese marco el equipo del Área Infraestructura Patrimonial de la DNA y el Equipo de SIBIN trabajaron en la elaboración del pliego licitatorio BIM que ya había sido realizado y terminado anteriormente en AutoCAD.

### PRIMER EXPERIENCIA BIM

Se modeló la casa en BIM utilizando como base de referencia la planimetría en AutoCAD ya realizada. No contábamos en ese momento con otros sistemas de relevamiento digital. Durante el proceso nos encontramos con algunos inconvenientes: En el caso de las patologías no pudimos volcarlo en BIM, HBIM hubiese sido de utilidad para representarlas. En el plano de Implantación, BIM nos permitió hacer un relevamiento minucioso de árboles, niveles, etc. Pero en la representación final algunos datos del paisaje estaban fuera de escala no se correspondían con la realidad. El pliego de Especificaciones Técnicas se correspondía con las referencias volcadas en planimetría de AutoCAD, que eran muy prácticas al momento de estar en la obra. Al pasarlo a BIM comenzamos a tener esta información más disgregada en diferentes planos. En algunos casos para saber las propiedades de cada familia había que verificarlo desde el modelo, y no se reflejaba eso en los planos finales lo que constituye un problema al no ser considerado como documentación contractual por tratarse de un modelo digital. La precisión de la planimetría fue un impedimento para licitar BIM y no se logró desprender el computo del modelo BIM.

En el caso de los detalles del mobiliario, el problema fue el tiempo de modelado. Se contaba con la documentación gráfica en forma física que fue escaneada la cual mostraba cada detalle de los muebles, pero por una cuestión de tiempos no se llegó a un resultado que reflejara la realidad del mobiliario en el modelo BIM. Era muy importante tener precisión en los planos de muebles ya que constituye un lenguaje



Fig. 3 - Planimetría general del contexto.



Fig. 3 - Vista norte y este del modelo paramétrico.

propio del autor y había que reconstruirlos. Las instalaciones se modelaron Revit MEP. Como resultado de lo expuesto anteriormente, se llegó a la conclusión que la documentación de arquitectura se licitaría en AutoCAD y la de instalaciones en BIM. La Contratación de Obras públicas requiere que la planimetría este en formato digital o en papel, pero no contempla aún al modelo paramétrico como recurso legal. En la actualidad la Dirección Nacional Arquitectura está en un proceso de Implementación HBIM.

## PROGRAMA SIBIM- SISTEMA DE IMPLEMENTACIÓN BIM EN EL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

El Programa SIBIM (Sistema de Implementación BIM en el Ministerio de Obras Públicas) nació con el propósito fundamental de mejorar la calidad de las construcciones, aumentar la cantidad de proyectos ejecutados y optimizar el uso de los recursos disponibles. Este ambicioso proyecto buscaba establecer un conjunto de principios y procedimientos ordenados que sirvieran como guía para implementar metodologías de trabajo basadas en Building Information Modeling (BIM), así como fomentar las mejores prácticas en las diferentes áreas del ministerio interesadas en adoptar esta tecnología.

Desde sus inicios, el programa SIBIM planteó la necesidad de transformar la forma en que se llevaban a cabo los proyectos de obra pública, promoviendo un cambio cultural que involucrara a todos los actores del proceso constructivo, desde diseñadores y proyectistas hasta contratistas y fiscalizadores. La metodología BIM no solo implica el uso de herramientas digitales avanzadas para modelar edificios e infraestructuras, sino también un enfoque colaborativo que permite gestionar de manera integral todas las fases del ciclo de vida de un proyecto, desde su concepción hasta su mantenimiento.

Uno de los primeros hitos del programa SIBIM fue la colaboración entre el equipo del Área de Infraestructura Patrimonial de la Dirección Nacional de Arquitectura (DNA) y el equipo de SIBIM para desarrollar un pliego licitatorio en formato BIM. Este pliego se basó en un proyecto previamente realizado en AutoCAD, y el objetivo era trasladar esa información a un entorno BIM con el fin de aprovechar las ventajas que ofrece esta tecnología en términos de precisión, coordinación y eficiencia.

La primera experiencia de modelado BIM consistió en la creación de un modelo digital de una casa utilizando como referencia la planimetría en AutoCAD que ya había sido elaborada previamente. En ese momento, el equipo no contaba con sistemas avanzados de relevamiento digital, lo que presentó ciertas limitaciones durante el proceso de modelado. A pesar de ello, se logró avanzar en el proyecto y obtener valiosas lecciones para futuros desarrollos.

Durante el proceso de modelado, surgieron diversos inconvenientes que evidenciaron las limitaciones de la tecnología disponible y la necesidad de ajustar los procedimientos. Por ejemplo, las patologías del edificio no pudieron ser representadas adecuadamente en el modelo BIM, lo que indicó que una implementación de HBIM (Historic Building Information Modeling) habría sido más adecuada para este tipo de proyectos patrimoniales, ya que permite representar con mayor precisión las condiciones específicas y los daños presentes en edificaciones históricas.

Otro aspecto que presentó dificultades fue la planificación del entorno o plano de implantación. Aunque BIM permitió realizar un relevamiento detallado de elementos como árboles y niveles del terreno, algunos datos del paisaje resultaron fuera de escala y no se correspondían con la realidad, lo que generó imprecisiones en la representación final. Esta experiencia puso de manifiesto la importancia de contar con herramientas de relevamiento más precisas y con datos actualizados del entorno.

En cuanto al pliego de especificaciones técnicas, éste se basaba en las referencias incluidas en la planimetría de AutoCAD, lo que resultaba muy práctico para su uso en obra. Sin embargo, al trasladar esta información a un entorno BIM, se encontró que la información quedaba más disgregada en diferentes planos y capas del modelo digital. Esto generó una dificultad adicional, ya que en algunos casos era necesario verificar las propiedades de cada elemento directamente en el modelo, lo que no se reflejaba en los planos finales utilizados como documentación contractual.

Uno de los mayores retos fue lograr que el modelo BIM sirviera como fuente directa para el cálculo de cantidades y costos. La falta de precisión en la planimetría original impidió que se pudiera desprender un cómputo automático y confiable desde el modelo, lo que obligó a continuar utilizando los métodos tradicionales de cálculo manual basados en AutoCAD.

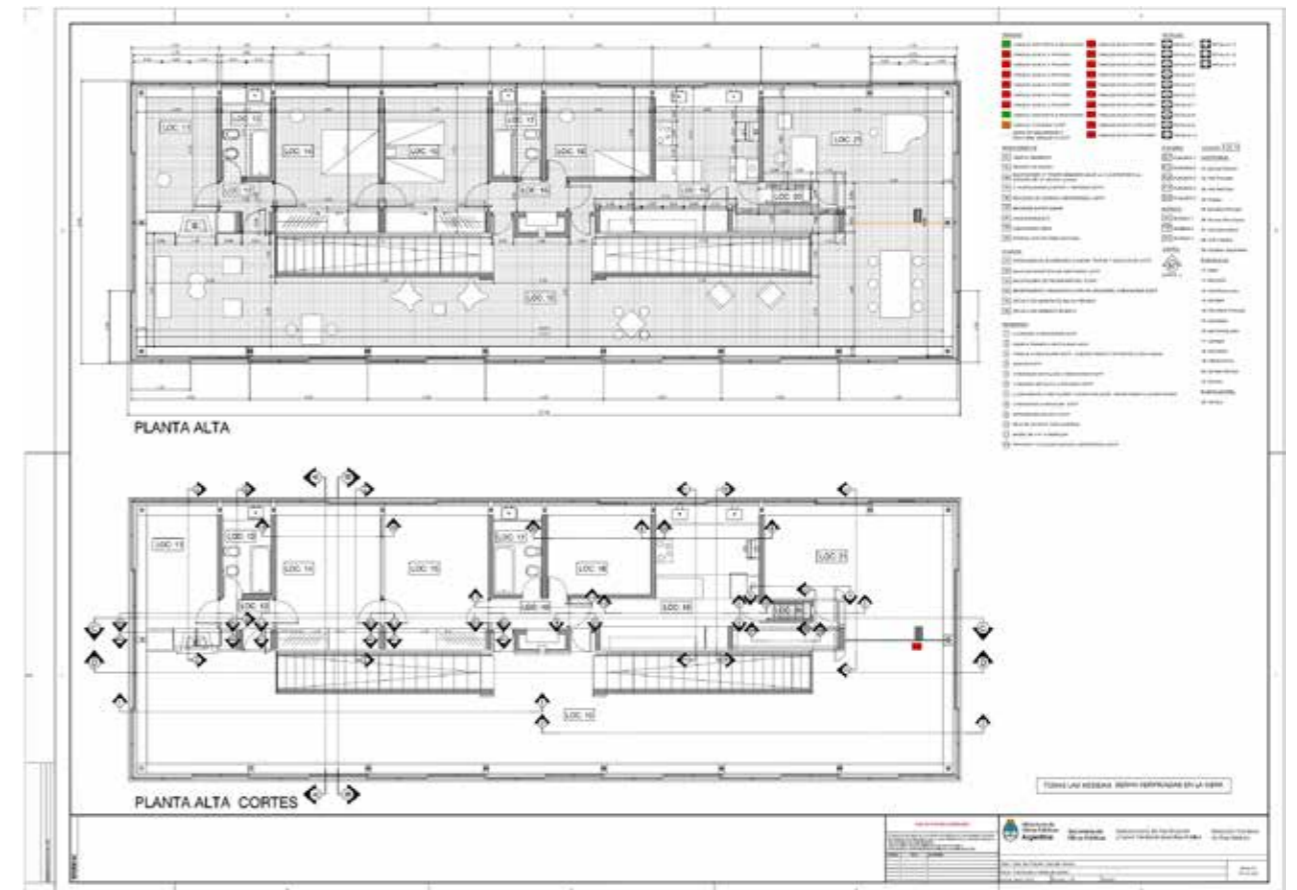


Fig. 4 - Plantas del edificio.

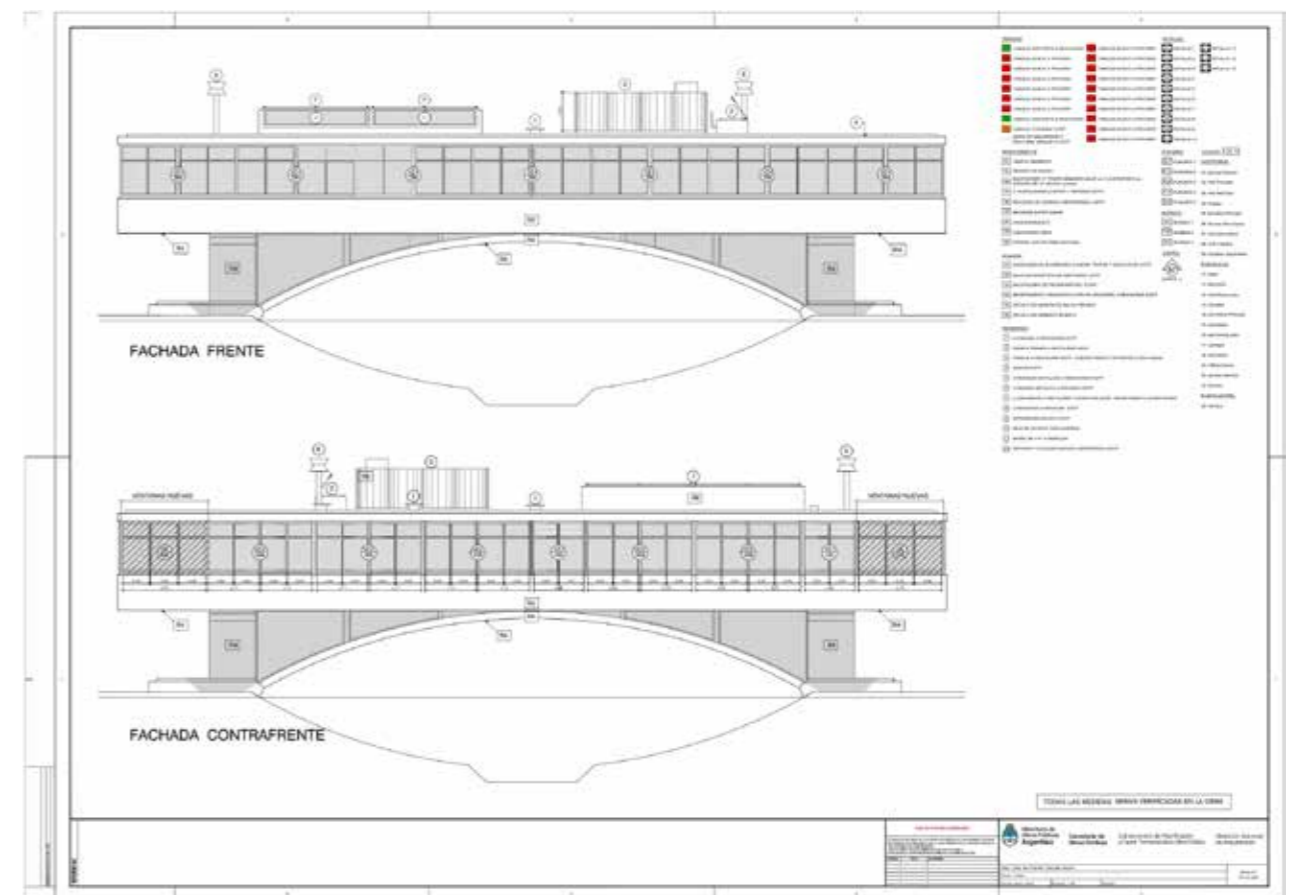


Fig. 5 - Lectura de materiales de construcción.

En el caso de los detalles de mobiliario, también se presentaron dificultades relacionadas con el tiempo de modelado. La documentación gráfica original estaba en formato físico y había sido escaneada, mostrando cada detalle de los muebles diseñados. Sin embargo, debido a limitaciones de tiempo, no se logró un modelado completo y preciso del mobiliario en el entorno BIM. Este aspecto era de gran relevancia, ya que los muebles constituían un elemento distintivo del diseño original y era fundamental representarlos con exactitud en el modelo digital.

En lo que respecta a las instalaciones, se utilizó el software Revit MEP para su modelado. Este enfoque permitió una mayor precisión en la representación de las instalaciones eléctricas, mecánicas y de plomería, y se consideró como un avance significativo respecto a los métodos tradicionales. Sin embargo, debido a las dificultades mencionadas anteriormente, se decidió que la documentación de arquitectura se licitaría en AutoCAD, mientras que la de instalaciones se licitaría en BIM.

## DESAFÍOS LEGALES Y CONTRACTUALES

Un aspecto relevante que surgía de esta experiencia era la necesidad de adaptar el marco legal y contractual para incorporar el uso del modelo BIM como documentación válida en los procesos de licitación y contratación de obras públicas. Hasta ese momento, la normativa vigente requería que la planimetría estuviera en formato digital o impreso, pero no contemplaba el modelo paramétrico como un recurso legalmente vinculante. Este obstáculo limitó el potencial de BIM como herramienta de gestión integral del proyecto y puso de manifiesto la necesidad de actualizar las regulaciones para acompañar la evolución tecnológica.

Actualmente, la Dirección Nacional de Arquitectura está en proceso de implementación de HBIM, una metodología específica para el relevamiento y modelado de edificaciones históricas. Este enfoque permite no solo representar con precisión el estado actual de los edificios patrimoniales, sino también gestionar de manera más eficiente su restauración y mantenimiento a lo largo del tiempo.

## CONCLUSIONES

La experiencia adquirida durante la implementación del programa SIBIM ha dejado valiosas lecciones que guiarán futuros desarrollos y mejoras.

Una de las principales conclusiones es la importancia de contar con un equipo multidisciplinario capacitado en el uso de herramientas BIM y con experiencia en la gestión de proyectos complejos. Asimismo, se ha destacado la necesidad de invertir en tecnología de relevamiento digital, como escáneres láser y drones, para obtener datos precisos del entorno y de las edificaciones.

Otro aspecto clave es la importancia de la capacitación continua de todos los actores involucrados en el proceso constructivo.

La adopción de BIM implica un cambio de paradigma que requiere no solo el dominio de nuevas herramientas tecnológicas, sino también el desarrollo de habilidades de colaboración y gestión.

De cara al futuro, el programa SIBIM se plantea como un modelo a seguir para otras instituciones públicas interesadas en modernizar sus procesos y adoptar tecnologías innovadoras. La implementación de BIM y HBIM no solo contribuye a mejorar la eficiencia y calidad de las construcciones, sino también a preservar el patrimonio cultural y arquitectónico del país para las futuras generaciones.

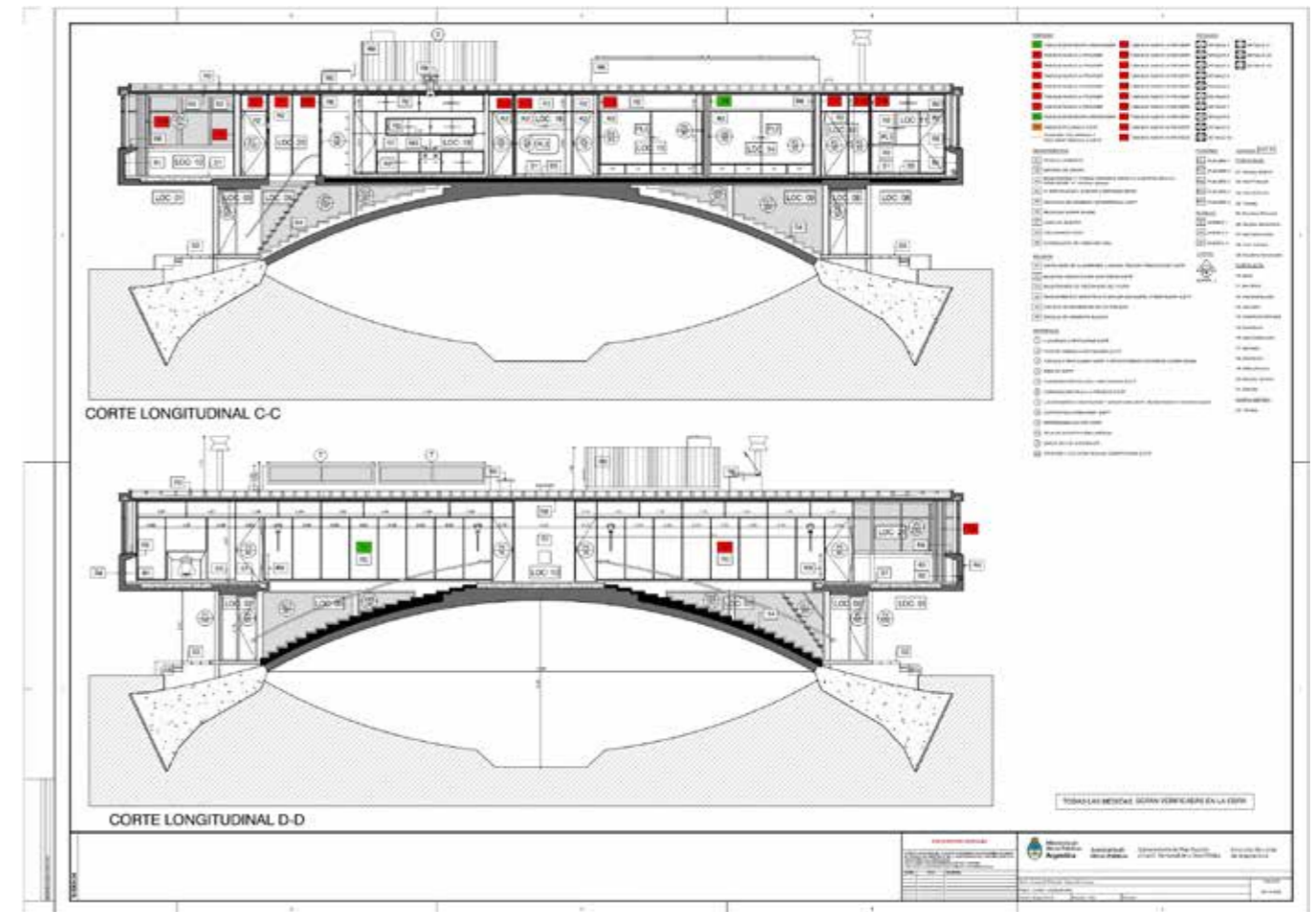


Fig. 7 - Cortes longitudinal del edificio.

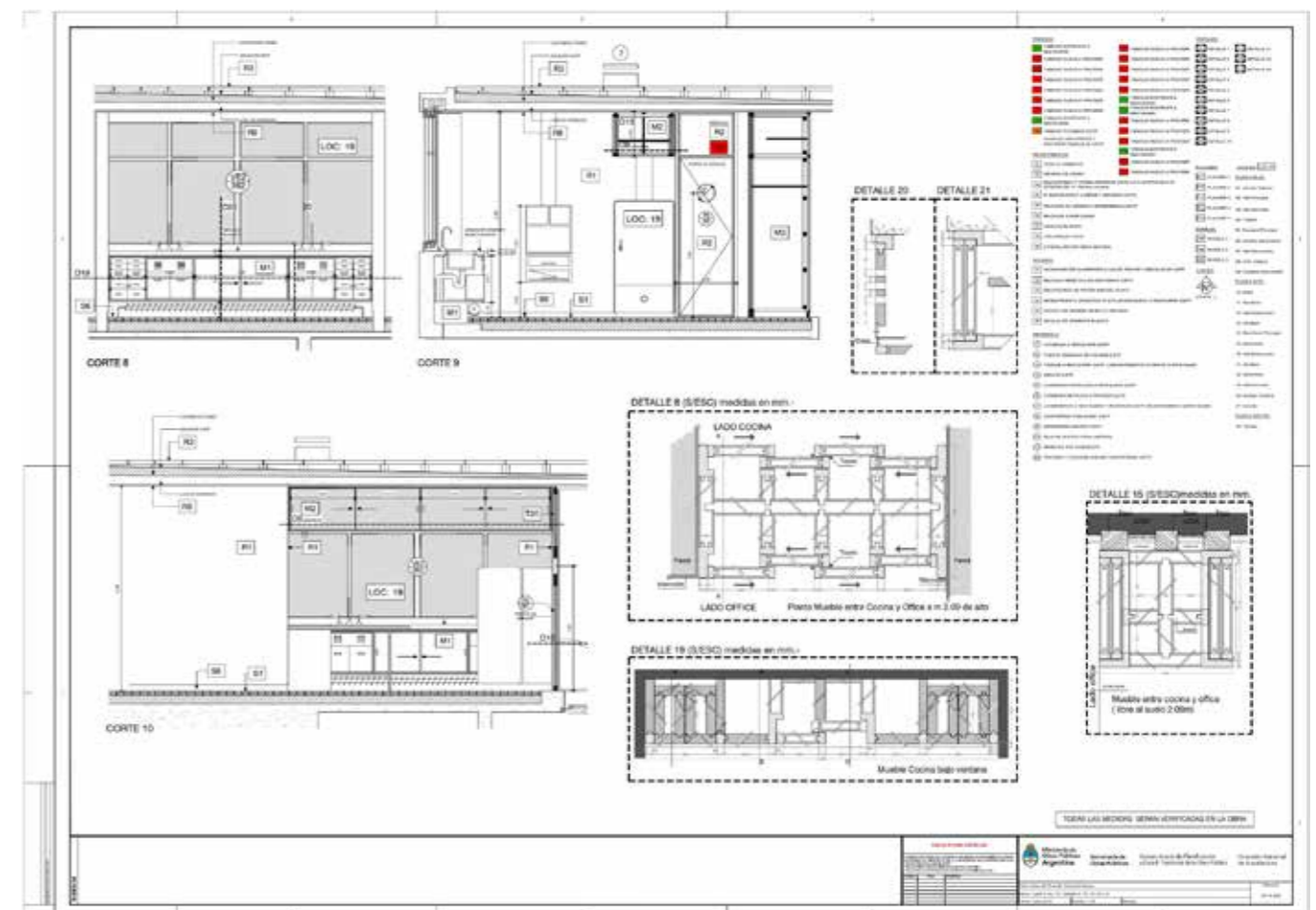


Fig. 8 - Detalles.

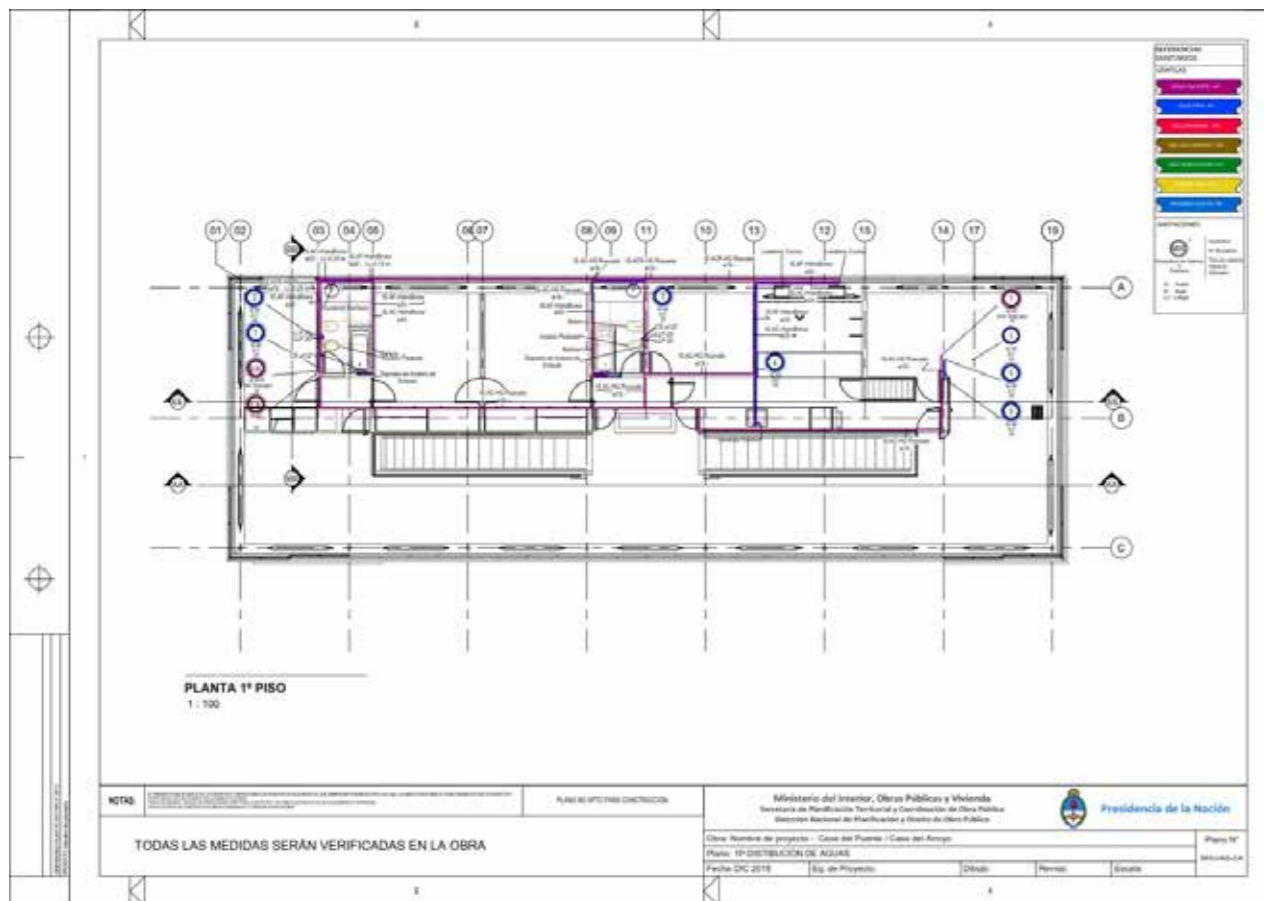


Fig. 9 - Plan de distribución de agua.

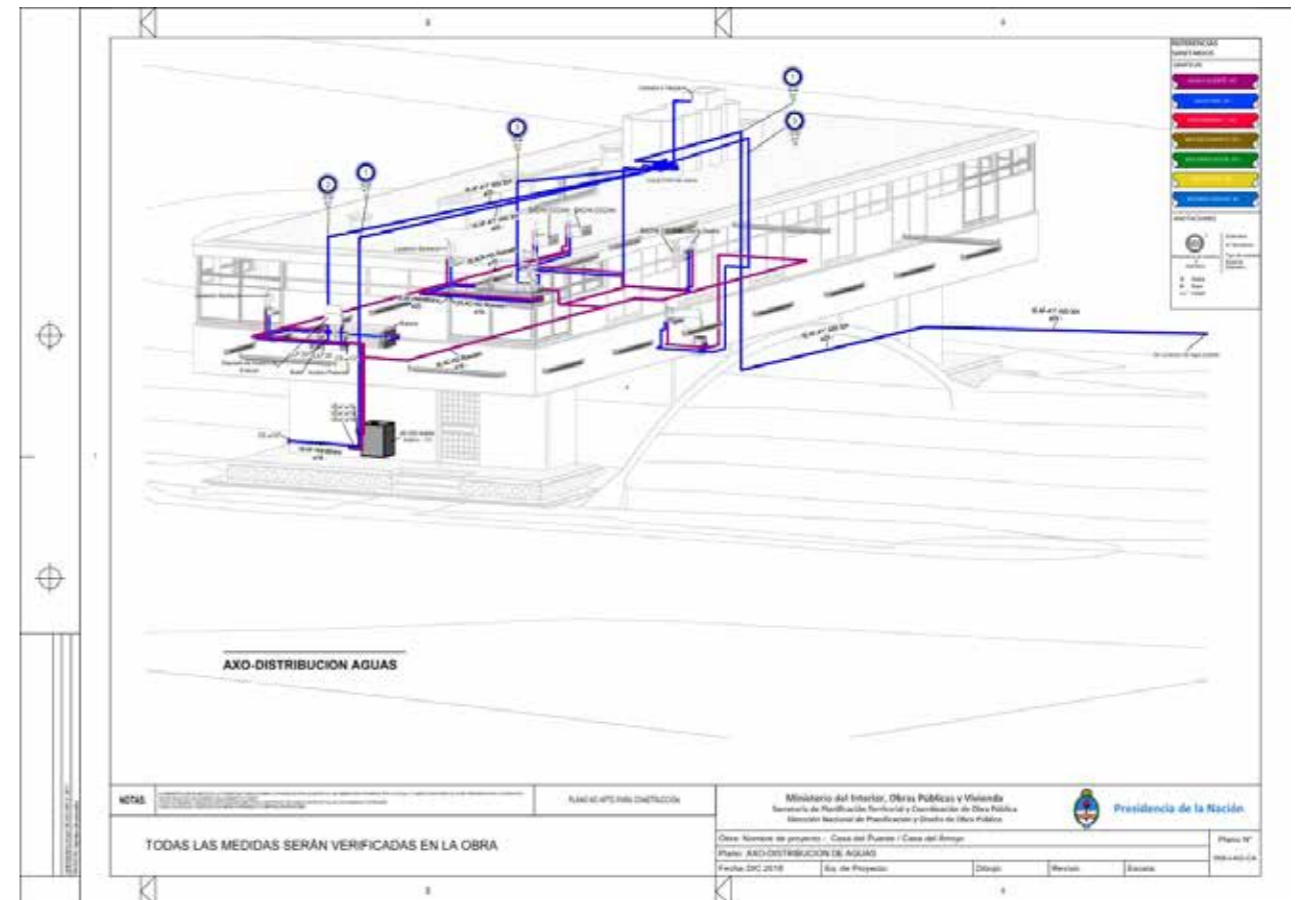


Fig. 11- Axonometría distribución de agua.

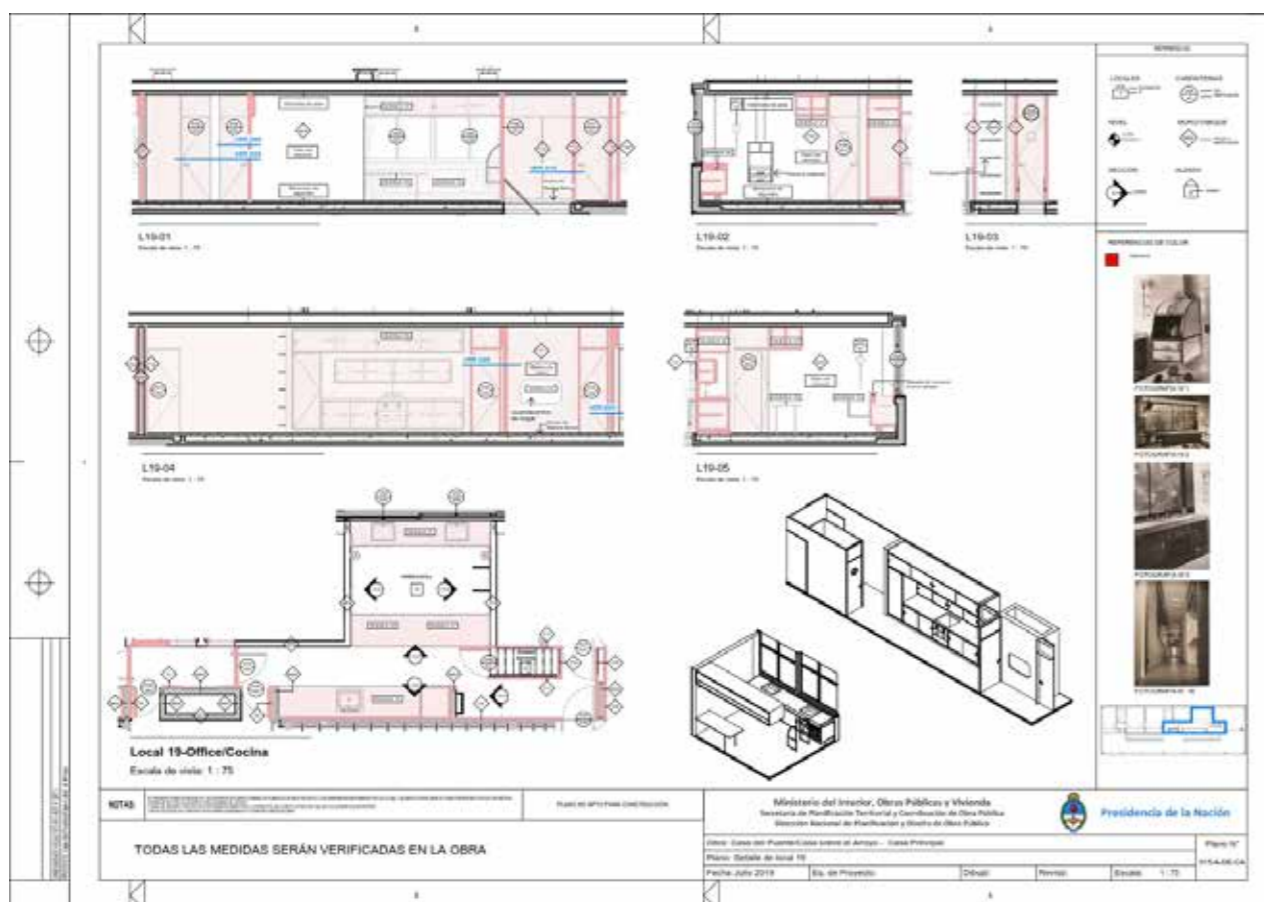


Fig.10 - Detalle de local 19.

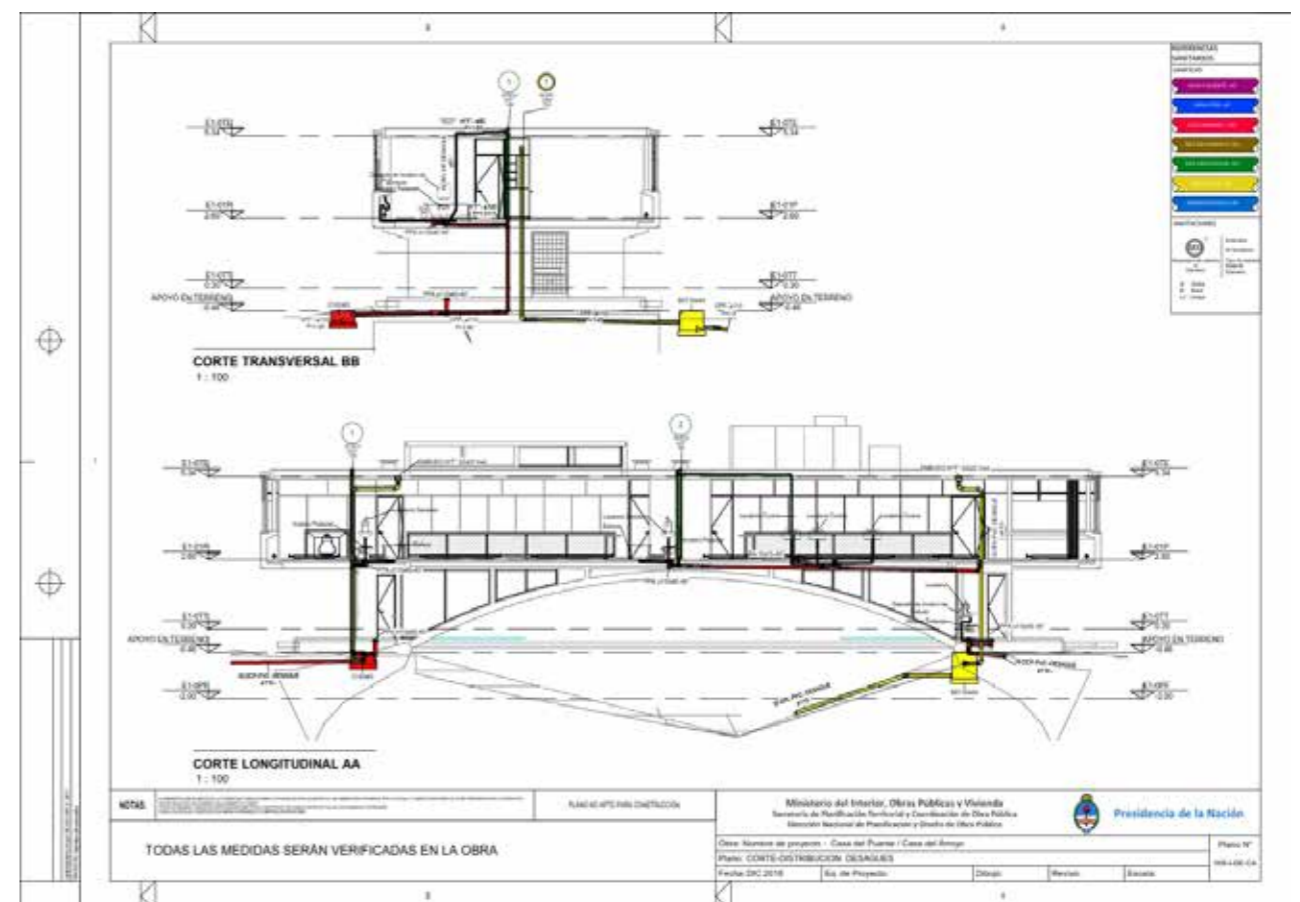


Fig.12- Corte distribución desagües.

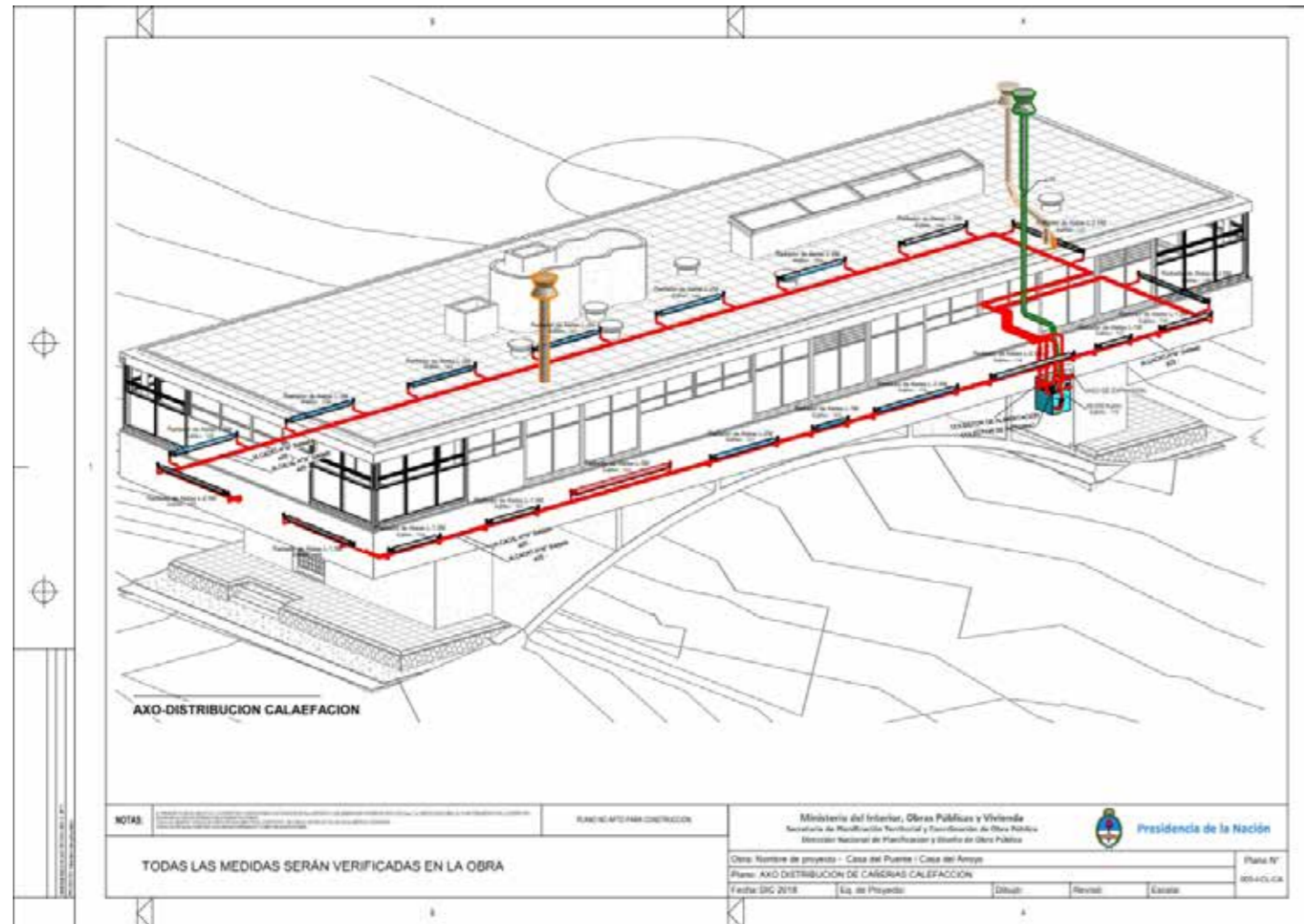


Fig. 13 - Axonometría distribución de cañerías calefacción.



Fig. 14 - vista del edificio desde el exterior tras la restauración.

## FICHA TECNICA OBRA

### OBRA

Restauración y puesta en valor de la Casa sobre el Arroyo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

2024 WORD MONUMENT FUND/KNOLL MODERNISM PRIZE.

2024 PRIMER PREMIO SCA-CICOP ARGENTINA.

### EQUIPO DE TRABAJO

#### DIRECCIONNACIONAL DE ARQUITECTURA

• Arq Guillermo Jorge Frontera • Arq Marcelo Julio Marcev

• Arq Priscila Denise Ibáñez Giardelli

• Arq Diego Armando Rojas • Arq Zulma Lilian Yelpe

#### COMISION NACIONAL DE MONUMENTOS, DE LUGARES Y BIENES HISTORICOS

• Lic Magalí Marazzo

#### COLABORADORES

• Arq Alejandra García Beltrán

• Secretaría de Obras Públicas de la Nación/DNGO - Inspección de obra

#### ASESORES

• Arq Guillermo Gil

• Arq Carlos Marazzi -SIBIM



Fig. 15 - vista del edificio desde el interior tras la restauración.



# DOCUMENTACIÓN DE LA BASÍLICA Y SANTUARIO NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO CON FOTOGRAMETRÍA A TRAVÉS DE MODELADO BIM

## DOCUMENTATION OF THE BASILICA AND SANCTUARY OF OUR LADY OF THE ROSARY THROUGH PHOTOGRAMMETRY AND BIM MODELING

### AUTHOR

Cecilia Tortone, Claus Bengolea, Jose Gómez Senn Ibañez

Dirección Nacional de Arquitectura de la República Argentina

### EMAIL

cecitortone@gmail.com;  
clausbengolea@hotmail.com;  
jgomezsenn@gmail.com

<sup>1</sup> Monumento Histórico Provincial - Decreto N° 6216/86

<sup>2</sup> Arquitectas especialistas en Conservación y Restauración del Patrimonio: Rebeca Medina, Mara Carmignani y Cecilia Tortone

<sup>3</sup> Alicia Beltramino. Restauradora de obras de arte

<sup>4</sup> Ing. Civil Hector de Marco

<sup>5</sup> Arq. Claus Bengolea e Ing. José Gomez Senn

## KEYWORDS

PATRIMONIO RELIGIOSO  
CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN  
FOTOGRAMETRÍA  
NUBE DE PUNTOS  
MODELO BIM  
HBIM  
MAPEO DE PATOLOGÍAS  
SOFTWARE

## ABSTRACT

El presente artículo realiza un recorrido por el proceso de relevamiento que dio lugar al proyecto de restauración de la Basílica y Santuario Nuestra Señora del Rosario<sup>1</sup>. Este Bien histórico es parte del legado cultural religioso de la Provincia de Córdoba, espacio fundamental en la memoria colectiva de todos los ciudadanos de Villa del Rosario. Dado el estado de deterioro en el que se encontraba la basílica, la Agencia Córdoba Turismo S.E.M, decidió gestionar y financiar el proyecto de restauración. Se realizó un trabajo interdisciplinario, donde participaron arquitectas especialistas<sup>2</sup>, una restauradora<sup>3</sup>, un ingeniero civil<sup>4</sup> y un equipo encargado de ejecutar la nube de puntos y fotogrametría<sup>5</sup>. La primera etapa del trabajo consistió en la investigación histórico-crítica, el relevamiento, métrico y mapeo de patologías, para lo cual se realizó el levantamiento fotogramétrico de imágenes y modelos BIM. Paralelamente, se avanzó con el análisis de diversas fuentes documentales, la inspección organoléptica del edificio, la toma de muestras para estudio de laboratorio, calas y estudios estratigráficos. La segunda etapa consistió en el diagnóstico a partir de los resultados obtenidos previamente; y finalmente, la tercera posibilitó el proyecto de restauración de las diversas partes de la Basílica. En el presente artículo nos centraremos puntualmente en la fotogrametría, con la cual se capturaron múltiples imágenes del templo desde diferentes ángulos. Estas fotografías se procesan utilizando software especializado (Agisoft-Metashape), que convierte las imágenes en un modelo 3D mediante técnicas de reconstrucción. Este modelo se integró en plataformas BIM (Autodesk Revit), permitiendo que los arquitectos, ingenieros y conservadores trabajen con una réplica digital exacta de la Basílica. De esta manera, la fotogrametría no solo garantiza precisión en la representación geométrica, sino que también ahorra tiempo y recursos en la recopilación de datos.

*This article takes a journey through the survey process that led to the restoration project of the Basilica and Sanctuary of Our Lady of the Rosary. This historical site is part of the religious cultural heritage of the Province of Córdoba, a fundamental space in the collective memory of all the citizens of Villa del Rosario. Given the deteriorated state of the basilica, the Córdoba Tourism Agency S.E.M. decided to manage and finance the restoration project. An interdisciplinary approach was carried out, involving specialized architects, a restorer, a civil engineer, and a team responsible for executing the point cloud and photogrammetry. The first stage of the work consisted of historical-critical research, surveying, metric mapping, and pathology mapping, for which photogrammetric imaging and BIM models were created. At the same time, the analysis of various documentary sources, organoleptic inspection of the building, sample collection for laboratory study, test pits, and stratigraphic studies were carried out. The second stage involved diagnosis based on the results obtained earlier; and finally, the third stage enabled the restoration project for the various parts of the Basilica. This article specifically focuses on photogrammetry, with which multiple images of the temple were captured from different angles. These photographs were processed using specialized software (Agisoft-Metashape), which converts the images into a 3D model through reconstruction techniques. This model was integrated into BIM platforms (Autodesk Revit), allowing architects, engineers, and conservators to work with an exact digital replica of the Basilica. In this way, photogrammetry not only ensured precision in the geometric representation but also saved time and resources in data collection.*

## INTRODUCCIÓN

Es notable el interés actual por las nuevas herramientas digitales que permiten la documentación rápida y eficiente de nuestro patrimonio cultural. Rápidamente los profesionales se están actualizando y adquiriendo nuevos conocimientos al respecto. Si bien requiere de mucho tiempo de entrenamiento, los resultados son muy beneficiosos. Este trabajo, realizado durante el año 2018, ha sido una primera experiencia de nuestros equipos de trabajos motivada por la urgencia en generar la documentación completa de la Basílica para el proyecto de restauración. El edificio posee grandes dimensiones, espacios inaccesibles y está sumamente ornamentado; a su vez presentaba un alto grado de deterioro. Estas han sido las razones que nos llevaron a utilizar nube de puntos e iniciar un proceso de formación e investigación sobre nuevas tecnologías para hacer más eficientes el relevamiento y la documentación de este y otros edificios posteriores. El objetivo es dar a conocer el proceso que nos permitió obtener el relevamiento de la Basílica y reflexionar sobre la necesidad de un trabajo interdisciplinario y la colaboración para generar un código deontológico relativo a este tema.



Fig. 1 - Nube de puntos y modelo BIM superpuesto de la Basílica Menor de Nuestra Señora del Rosario. Fuente: Archivos del equipo de trabajo 2017.

## EL EDIFICIO

La Basílica Menor de Ntra. Sra. del Rosario (1855-1894), se ubica en la ciudad de Villa del Rosario (1795), provincia de Córdoba, Departamento Río Segundo.

### Tipo funcional

La iglesia responde al tipo basilical longitudinal, con nave principal y dos laterales, transepto con cúpula sobre crucero, con nártex, coro alto, sacristía, depósitos, y el Camarín para la imagen de la Virgen del Rosario, al que se accede desde el testero.

### Tecnología

Tradicional, muros de ladrillo, cubierta con bóveda sobre arcos de medio punto, de cañón corrido, bóveda de aristas, y cúpulas. Contrafuertes sobre naves laterales.

### Estructura

Ejecutados en ladrillo asentados en cal, los muros de la nave central sostienen la bóveda de cañón corrido levemente rebajado. Los cinco tramos de nave central quedan marcados por arcos fajones y arcos laterales que van definiendo lunetos profundos. Las

naves laterales, de menor altura que la central, están cubiertas con bóvedas de crucería. Las capillas de los extremos de las naves laterales están cerradas con cúpulas con linternas que repiten en menor escala el ornamento exterior de la cúpula central. La cúpula de media naranja con linterna descansa sobre un tambor octogonal y cuatro pechinas. El nártex está cubierto con bóvedas de arista y de crucería, en correspondencia con los arcos de ingreso. La carpintería original está ejecutada en algarrobo, y el trabajo en herrería está presente en la baranda del coro alto.

### Lenguaje

La fachada principal se organiza de acuerdo a las reglas de la academia en un basamento marcado por pedestales altos sobre los que se apoyan las pilastras monumentales de fuste estriado y capitel de orden corintio que ritman en desarrollo del cuerpo del edificio, que remata en un entablamento de friso liso, con frontón central, enmarcado en dos torres laterales de dos cuerpos. Las pilastras definen tres calles con arcos de ingreso al nártex en el basamento y ventanas en el nivel del coro alto. La imagen de la Virgen del Rosario ocupa la ventana central. Las torres presentan un cuerpo bajo almohadillado con salientes en las esquinas, sobre el que apoya el segundo cuerpo ornamentado con

pares de pilastras de orden corintio que soportan un frontón curvo, bajo el que se ubica un arco y un óculo, remarcados con molduras. Las cúpulas de las torres y el tímpano del frontón central están revestidos con venecitas celeste, al igual que la cúpula, levemente perlada y marcada con gajos que continúan el eje de las dobles columnas que definen los ángulos del tambor. La cúpula, con seis nervios marcados pictóricamente, se apoya sobre las cuatro pechinas que reciben las imágenes de los cuatro evangelistas.

El espacio responde directamente al tipo longitudinal basilical, articulado en este caso por el uso de dobles semicolumnas monumentales que aparentan sostener los arcos que marcan el camino del fiel, remarcado por la cornisa que dirige la mirada al Camarín de la Virgen. Los arcos que vinculan las tres naves amplían el espacio central, iluminado desde las ventanas de la nave central y desde la cúpula. Los colores de los estucos y sus contrastes, más el uso del dorado le confieren al espacio una diversidad y complejidad aparentemente despreocupada, propia del espíritu barroco original -como el alemán o el italiano-, reinterpretado en este neobarroco decimonónico argentino. Las naves laterales se inician en las torres y tras cinco tramos de aristas, el transepto, y un tramo con cúpulas, culminan en un tramo más bajo, que al igual



Fig. 2 - Fachada Basílica Menor de Nuestra Señora del Rosario. Fuente: Fotografía del equipo de trabajo 2017.



Fig. 3 - Entorno Basílica Menor de Nuestra Señora del Rosario. Fuente: Fotografía del equipo de trabajo 2017.

que sucede en la nave central con el Camarín, queda cerrado por retablos, es decir, una escenografía de cierre, que no forma parte estructural del edificio.

## FOTOGRAMETRIA EN EL PATRIMONIO CULTURAL

La utilización de la fotogrametría como herramienta técnica aplicada al patrimonio cultural se ha difundido rápidamente en los últimos años; ha sido utilizada por arqueólogos para documentar y analizar sus hallazgos, sin que exista contacto físico con el objeto; y ha permitido relevar paisajes arqueológicos de gran escala para crear modelos digitales de estos sitios y poder entender su organización espacial y hacer investigaciones al respecto.

*“La fotogrametría es una disciplina que crea modelos 3D a partir de imágenes 2D, para de esta manera obtener características geométricas de los objetos que representan, mediante el uso de relaciones matemáticas establecidas... Ya que las imágenes de los objetos son obtenidas por medios fotográficos, la medición se realiza a distancia sin que exista contacto físico con el objeto”*

Jauregui Olazabal. L.M

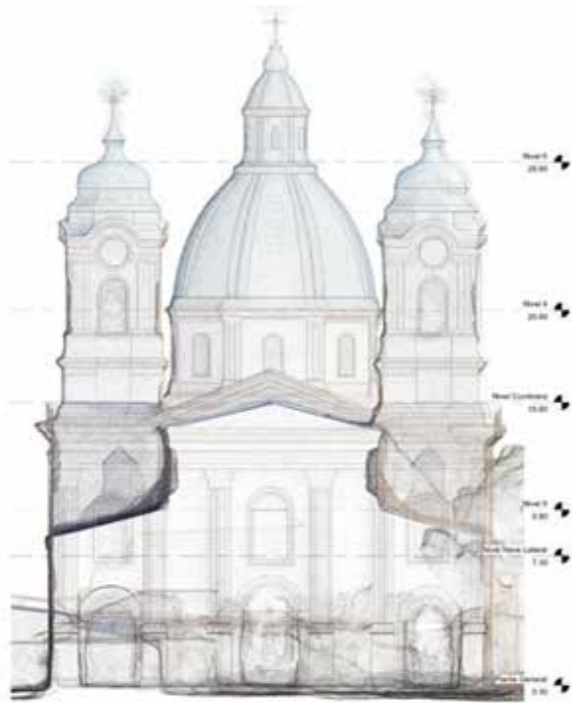


Fig. 4 - Corte transversal en la nube de puntos de la Basílica Menor de Nuestra Señora del Rosario. Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.

En cuanto a edificios históricos, estas herramientas se están difundiendo rápidamente porque permiten acelerar los trabajos preliminares al proyecto de intervención. La primera etapa, de relevamiento, resulta fundamental en la intervención de edificios históricos. El estudio de antecedentes, relevamiento métrico, mapeo de patologías, estudios estratigráficos, cateos, permiten conocer el Bien en profundidad: su historia, su naturaleza constructiva, los cambios producidos en el tiempo, deterioros, etc. para poder generar un diagnóstico completo que conduzca a un proyecto óptimo. La fotogrametría permite acelerar el proceso de relevamiento métrico en edificios complejos y hacerlo de manera completa y fiel en edificios de gran escala o con sectores inaccesibles.

Posibilita también entender y estudiar patologías complejas como pueden ser deformaciones y hundimientos, que de otro modo sería muy difícil registrar y dimensionar.

Cabe destacar, como uno de los puntos que queremos resaltar en este informe, la importancia del trabajo interdisciplinario en esta etapa.

El binomio fotogrametría-patrimonio requiere definir principios de buena praxis para esta nueva dimensión digital del patrimonio.

En este proyecto se emplearon diferentes estrategias de modelado digital del proceso constructivo de un elemento arquitectónico en un entorno HBIM.

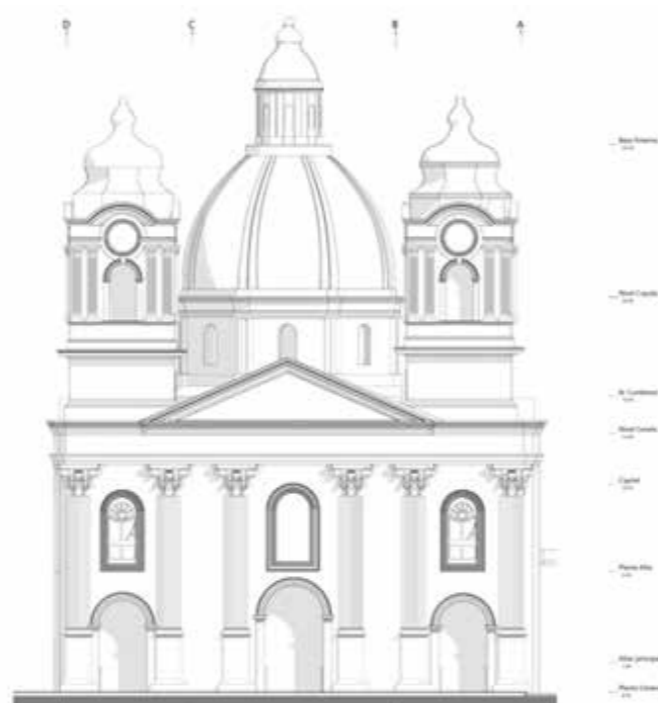


Fig. 5 - Vista frontal de la Basílica Menor de Nuestra Señora del Rosario. Fuente: Documentación desarrollada por el equipo de trabajo 2017 a partir del modelo en Autodesk Revit.

Partiendo de la captura digital fotogramétrica de los muros de las 4 fachadas de las dependencias capitulares de la Basílica de la Iglesia, se ha generado un modelo conceptual inicial orientado a la definición genérica del Bien y a su encuadre dentro del conjunto catedralicio. Posteriormente, con objeto de experimentar la potencialidad de aplicación de estas herramientas al análisis arqueológico y arquitectónico, se han transportado sus resultados a este entorno HBIM, alcanzando la caracterización tridimensional de cada una de sus unidades constructivas básicas de la fachada a diversos niveles.

El nivel de conocimiento alcanzado en este modelo más desarrollado ha permitido utilizarlo como base para el registro y gestión de la información patrimonial, permitiendo visualizaciones temáticas gráficas y alfanuméricas.

El uso de técnicas de fotogrametría a partir de imágenes obtenidas de fotos captadas mediante el uso de un Drone Phantom 3 Profesional y una cámara fotográfica especial de tipo réflex, fue posible el procesamiento mediante herramientas digitales, tales como Autodesk ReCap, logrando una nube de puntos que dio lugar al modelado de la Basílica.

## GENERACION DE LA NUBE DE PUNTOS

La captura de fotos mediante el uso del Dronerequirió planificar el vuelo con el objeto de que las imágenes obtenidas tengan cierto grado de solapamiento para poder generar mediante fotogrametría a través de aplicaciones digitales, la nube de puntos necesaria para luego continuar con el modelado. El relevamiento se realizó tanto en el exterior como en el interior de la Basílica. El uso de una cámara fotográfica especial permitió complementar información precisa y de detalle. Previo a establecer el plan de vuelo y las estrategias para la captura de la información, se estudió la documentación técnica disponible y mediante un relevamiento previo visual se pudo organizar luego la modalidad de vuelos y la cantidad de imágenes necesarias para lograr la nube de puntos.

## MODELO BIM

El modelo tridimensional de la Basílica se desarrolló a partir de la nube de puntos obtenida mediante la aplicación Autodesk Revit.

La estrategia de modelado definida organizó el trabajo en dos modelos que luego serían integrados,

el modelado exterior y el modelado interior. Para ambos casos, fue necesario desarrollar familias paramétricas para la representación de los distintos componentes arquitectónicos.

Nos encontramos con un modelo que en realidad es la suma de varios elementos vinculados; en ciertos casos, esto puede llegar a dificultar la selección de partes concretas, su modificación, o la aplicación de criterios de visualización por rango de vista y subyacente

La primera parte, por tanto, implica definir qué modelos vinculados se integran permanentemente con el modelo principal, y cuáles convendría mantener como vínculos externos. Tres criterios que pueden ser válidos para saber en qué lado de la balanza caen:

- Tamaño del modelo o archivo vinculado
- Rapidez de visualización (por ejemplo, una cubierta de teja con muchos elementos repetitivos será un buen elemento vinculado, que no necesita -ni es recomendable- estar integrada en el modelo principal)
- Visualización: valorar si será necesario tener las perspectivas o visualizaciones concretas para el modelo.

Las capacidades de un modelado tan específico y detallado en Revit son escasas. No obstante, hay veces que la mayor dificultad consiste en sintetizar la geometría; en saber discernir de dónde viene y cómo se ha ido modificando. Por poner un ejemplo, si pensamos en los ventanales góticos, y en las partes pequeñas que hay en su parte superior (trilóbulos) pueden parecer complejas hasta que entiendes que son tres círculos enlazados y un barrido recto.

No obstante, hay geometría que en este proyecto se volvía intrínsecamente difícil; en este caso, las alternativas son, principalmente, cuatro:

- El uso de masas, que da mucha más versatilidad al modelado y permite realizar, desde muros inclinados o alabeados, hasta bóvedas o elementos más complejos.
- La importación y/o gestión de vínculos, dentro de nuestro modelo BIM
- Una mezcla de las dos anteriores: la generación de familias in situ, que permite importar todo tipo de familias y elementos y aglutinarlos en la categoría madre.
- La nube de puntos. Aporta el mayor nivel de detalle que podemos imaginar, una precisión milimétrica además de acceder a lugares que con otros métodos de medición serían imposibles.

## VISTAS Y CORTES DEL MODELO

La documentación para la obtención de las piezas gráficas tales como vistas y secciones, se obtuvo a partir del modelo integrado. Planos de plantas, secciones y vistas fueron luego complementados con información gráfica a partir de las imágenes relevadas con la finalidad de elaborar un pliego que establezca los trabajos necesarios para la restauración de la Basílica.

## PREPARACION DE LA INFORMACIÓN

Una vez el modelo está preparado, se estructura la información:

La información (y los parámetros) que se planteó introducir en el modelo BIM, y dotarle de esa capa extra de datos, se resumía en los siguientes objetivos:

1. Identificar los hitos (los elementos patrimoniales interesantes: por ejemplo, una arcada, una escultura o un retablo) y su ubicación.

2. Dotar de parámetros de singularidad y atracción a cada hito (como forma de clasificar en una suerte de ranking de elementos más o menos interesantes).

3. Separar el modelo en Unidades espaciales.
4. Indicar los usos de cada una de los espacios (habitaciones).
5. Generar recorridos o perspectivas útiles para el modelado general.
6. Definir la Superficie no útil de recreación de cada espacio.
7. Obtener la Superficie útil de recreación de cada espacio.



Fig. 6 - Entorno a partir de nube de puntos. Imagen desde Autodesk Recap. Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.

## CONCLUSION

El desafío de realizar un relevamiento As Built de la Basílica requiere de un trabajo interdisciplinario que integre la utilización de herramientas digitales y equipos de relevamientos especiales, y por supuesto de las distintas especialidades que en equipo configuran los recursos necesarios para lograr generar la documentación requerida para la gestión y conservación de un Edificio Patrimonial. En el contexto del patrimonio, la fotogrametría en combinación con BIM ofrece ventajas significativas. Permite preservar digitalmente edificaciones y sitios de interés cultural, facilitando su conservación y planificación en intervenciones futuras. Además, el modelo digitalizado es accesible para distintas disciplinas, lo que favorece la colaboración y análisis compartido del patrimonio. La precisión del levantamiento fotogramétrico es esen-

cial para garantizar que los modelos BIM reflejen fielmente el estado actual de los elementos patrimoniales, posibilitando una gestión más eficiente y fundamentada de estos bienes.

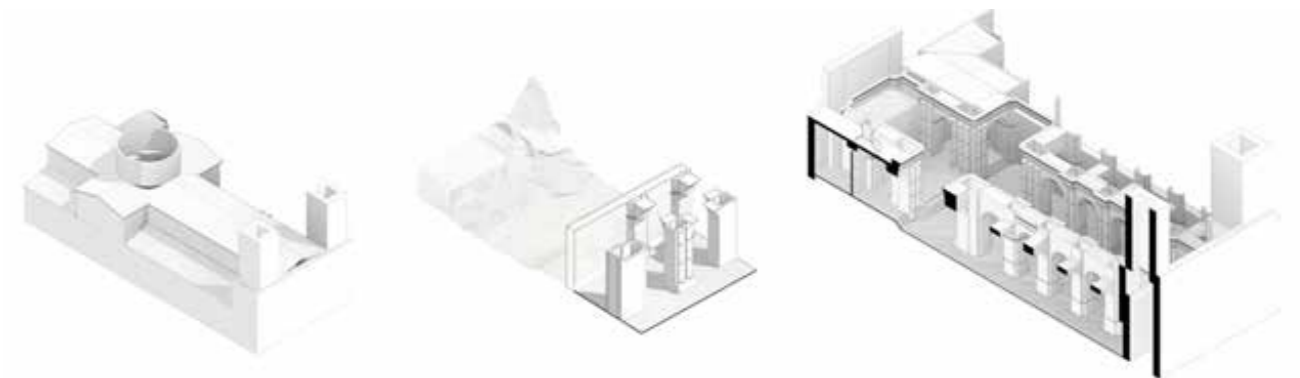


Fig. 7, 8, 9 - Maqueta 3d lograda mediante el uso de Autodesk Revit. Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.

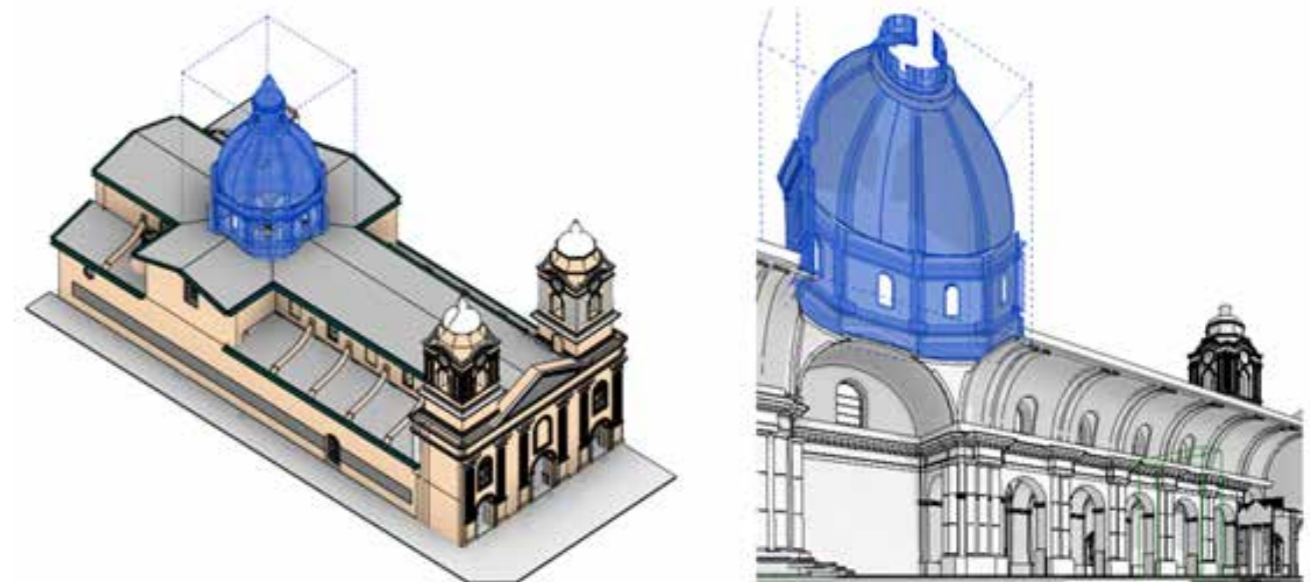


Fig. 10 - Maqueta 3d lograda mediante el uso de Autodesk Revit. Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.



Fig. 11, 12, 13 - Imágenes interiores capturadas y procesadas para el modelado interior.  
Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.

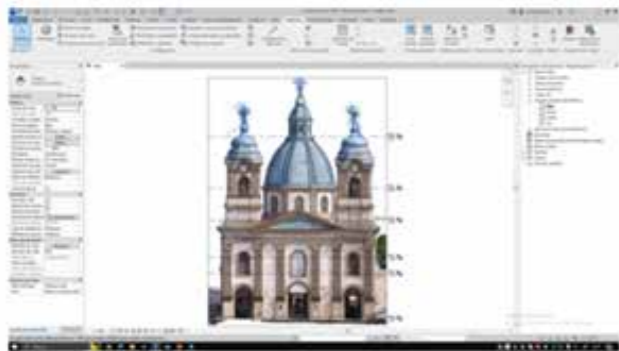
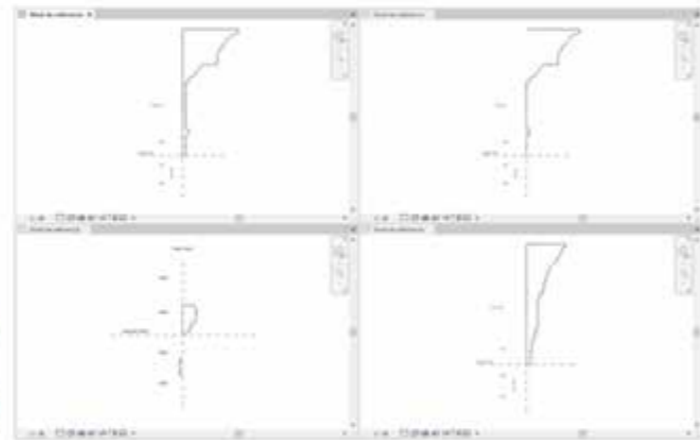


Fig. 14, 15, 16, 17. - Trabajo en proceso, modelado interior y exterior mediante el uso de familias paramétricas para representar molduras a través de perfiles.  
Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.

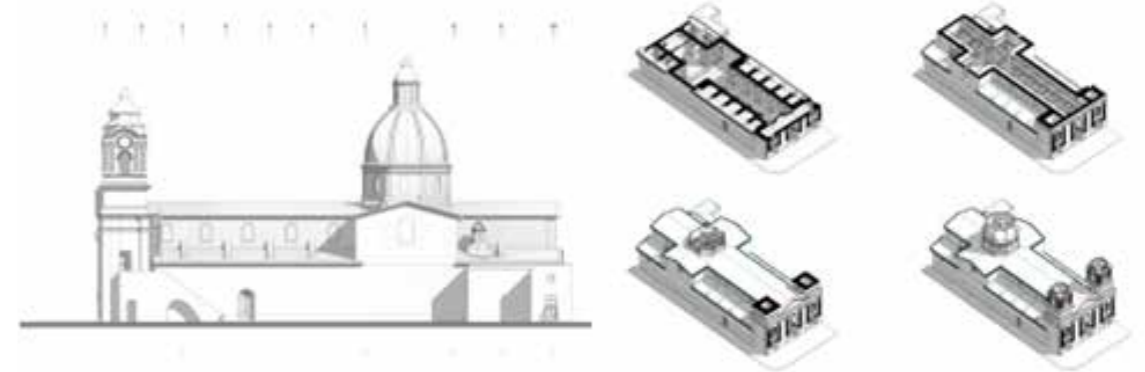
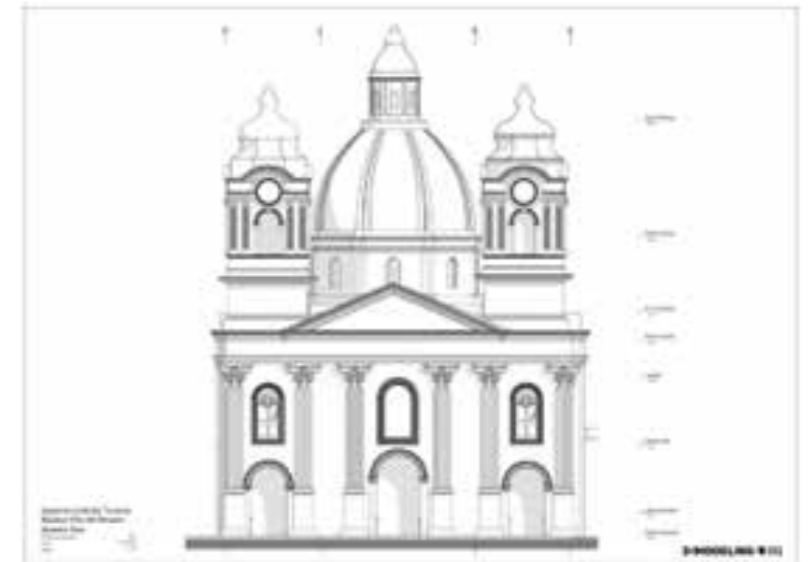


Fig. 18, 19, 20, 21. - Documentación gráfica lograda a partir del modelado exterior e interior para la elaboración del pliego licitatorio.  
Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.

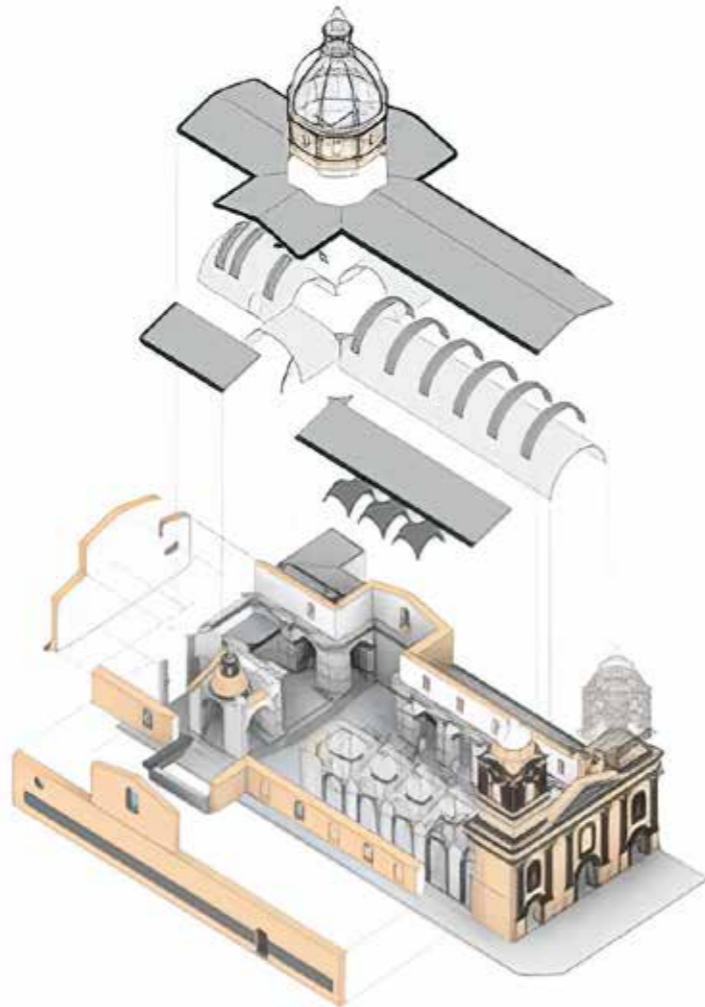


Fig. 22, 23. - Despiece gráfico de elementos constitutivos en el modelo para entender la composición del modelo. Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.



Fig. 24, 25. - Mapeo de patologías en bóvedas y paramentos. Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.

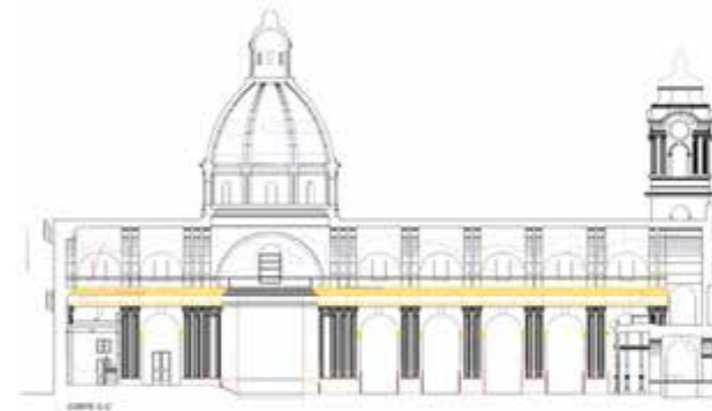


Fig. 26, 27. - Mapeo de patologías en interiores y Corte en modelo con la representación del entorno a través del entorno mediante nube de puntos. Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.

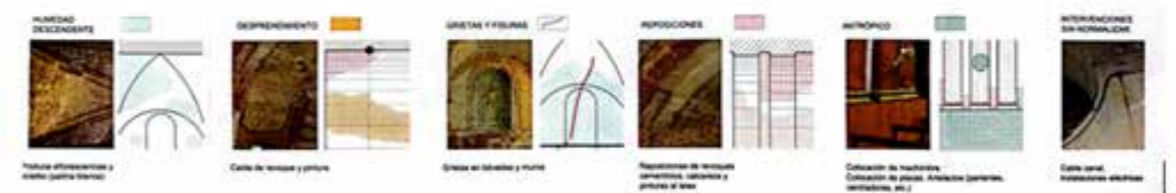
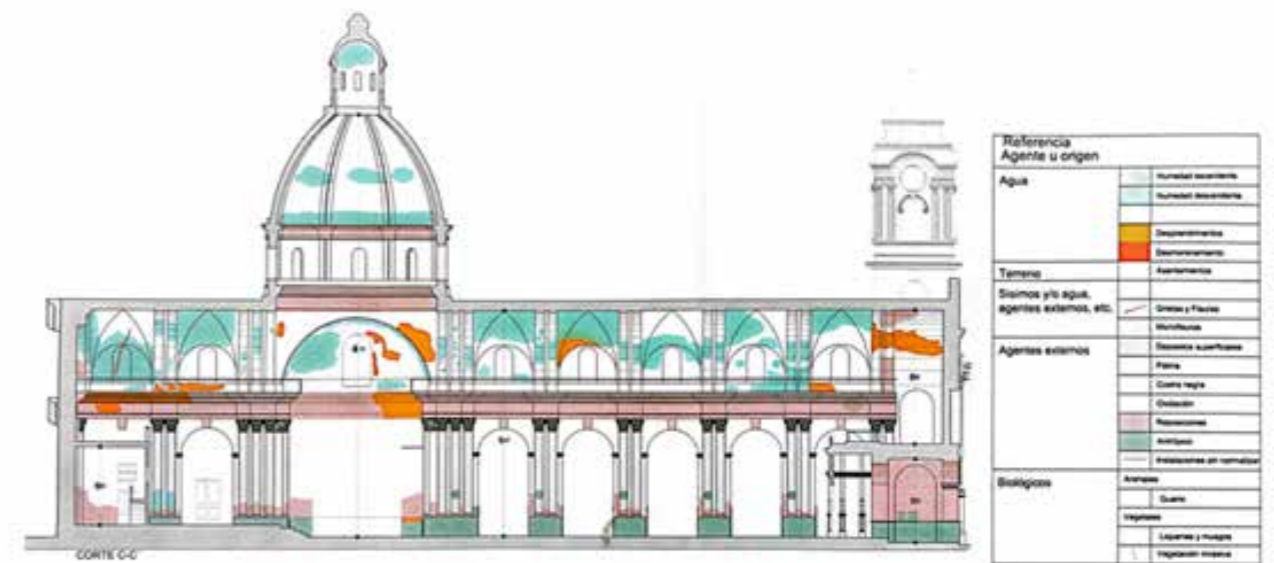


Fig. 28, 29. - Mapeo de patologías en paramentos, bóvedas y cúpulas. Fuente: Archivo del equipo de trabajo 2017.

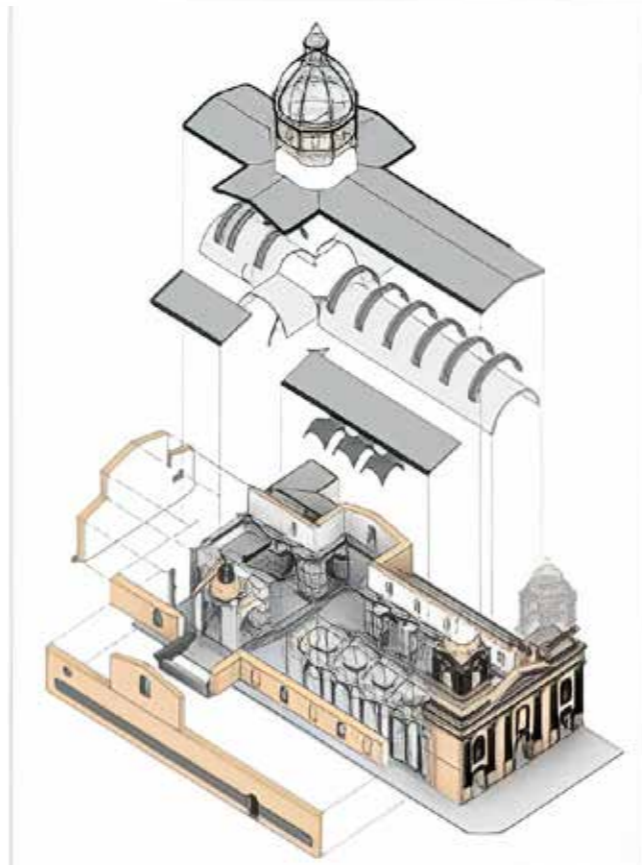


Fig. 30, 31 - Sección axonométrica.

## BIBLIOGRAFÍA

A. R. Reginatto y J.C. Ferrero. 1973. *Collapse Potential of Soils and Soil-Water Chemistry*. Proc. Eighth I.C.S.M.F.E. Moscow.

E. R. Redolfi. Determinación Rápida de la Presión de Fluencia en Suelos Loésicos. In *Boletín de Información de Laboratorio de Carreteras y Geotecnia*, Madrid, 1982, No 51, pp. 3-8.

R. J. Rocca, E. R. Redolfi y A. R. Reginatto. 1992. *Determination of Collapse Potential of Soils*. 7th International Conference on Expansive Soils, Dallas, Texas. pp. 73-77.

V. A. Rinaldi, R. J. Rocca y M. E. Zeballos. 2007. *Geotechnical Characterization and Behaviour of Argentinean Collapsible Loess*. *Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils*. Tan, Phoon, Hight & Leroueil (eds). Taylor & Francis Group, London.

C. Pizzi. 1986. *Mantenimiento de los Edificios de Vivienda Individual y Colectiva*. CEPCO Ediciones, Córdoba.

E. Zanni. 2008. *Patología de la Construcción y Restauo de obras de arquitectura*. Editorial Brujas, Córdoba.

Carmignani, Medina, Tortone. *Proyecto de intervención Basílica y Santuario Nuestra Señora del Rosario*, 2018

# APROXIMACIÓN A LA PARAMETRIZACIÓN DE UNA ESCALERA COMO ESTRATEGIA DE APRENDIZAJE ARQUITECTÓNICO

## APPROACH TO THE PARAMETRIZATION OF A STAIRCASE AS AN ARCHITECTURAL LEARNING STRATEGY

### AUTHOR

Fco-Javier González-Pérez<sup>1</sup>, Luis Giménez-Mateu<sup>1</sup>, Tommaso Empler<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Polytechnical University of Catalonia, Barcelona School of Architecture

<sup>2</sup> Sapienza University of Rome, Faculty of Architecture, Department of History, Representation and Restoration of Architecture

### EMAIL

fco.javier.gonzalez@upc.edu

lluis.gimenez@upc.edu

tommaso.empler@uniroma1.it

## KEYWORDS

ESCALERA  
DISEÑO BASADO EN LA NORMATIVA  
GRAMÁTICA DE FORMAS  
DISEÑO PARAMÉTRICO

## ABSTRACT

El objetivo del artículo es presentar un ejercicio académico de la asignatura de Representación Arquitectónica II, asignatura de segundo curso, del grado de Arquitectura de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona: relacionando aprendizajes, tanto en lo referente a habilidades como a conocimientos, que el alumnado ha de adquirir con el objetivo de poder aplicar posteriormente a nivel profesional, es decir, la adquisición de competencias específicas propias del ámbito de la representación arquitectónica. El ejercicio consiste en realizar una aproximación a la parametrización de aquellos requerimientos técnicos normativos actualmente vigentes para una escalera de tipo helicoidal o comúnmente denominada, de caracol.

*The objective of this article is to present an academic exercise from the course \*Architectural Representation II\*, a second-year subject in the Architecture degree at the Technical School of Architecture of Barcelona. The exercise connects learnings, both in terms of skills and knowledge, that students must acquire in order to later apply them professionally. In other words, it focuses on the acquisition of specific competencies related to the field of architectural representation. The exercise consists of an approach to the parametrization of the technical and regulatory requirements currently in force for a helical staircase, commonly known as a spiral staircase.*



## INTRODUCCIÓN

La arquitectura es una disciplina que tiene múltiples facetas que incluye, entre otras, la precisión matemática y el cumplimiento de normativas.

La escalera es uno de esos elementos arquitectónicos que combina estética y funcionalidad, pero cuyo diseño puede ser complejo y requiere también atención detallada a la geometría. La aproximación a la parametrización de una escalera, basada en la normativa, y aunque no resulta fundamental para asegurar no solo la estética y funcionalidad de la misma, ni tampoco para optimizar el diseño desde el punto de vista geométrico, resulta un ejercicio académico interesante para ayudar a desarrollar en el alumnado la capacidad para resolver problemas, el pensamiento crítico y la creatividad [Redondo et. al., 2012]. Sin pretender realizar un vaciado exhaustivo de fuentes, resulta necesario señalar algunas ideas que, aunque tal vez totalmente superadas permiten entender la base de la formación -a nuestro parecer- del arquitecto actual. Así, el arquitecto romano Marco Vitruvio Polión ya en el siglo I a. C. exponía la regla para el dimensionado de un tramo recto de escaleras (Fig. 1). Dicha regla estaba basada en la tríada pitagórica 3-4-5, y consistía en asimilar el trazado de la escalera a un triángulo rectángulo, en el que debía dividirse la base en cuatro partes, llevando tres veces una de esas partes como cateto opuesto, y obteniendo como resultado cinco partes para la rampa o hipotenusa. De este modo Vitruvio establecía la pendiente de la escalera, y posibles variaciones de la misma [Vitruvio 1787. Libro IV, capítulo II]. De igual modo, insistía en unas medidas muy concretas para la profundidad de la huella (H), que debía estar entre un pie y medio y dos (44,36 cm y 59,15 cm), y la contrahuella (C) que debía disponer de un valor en altura de entre nueve y diez pulgadas (22,18 cm y 24,64 cm), para la grada de un templo. Siendo la huella de un pie y medio y una contrahuella de diez pulgadas la que permite dibujar aproximadamente la rampa C-F (Figura 1) del trazado pitagórico [Vitruvio 1787. Libro III, capítulo III].

León Battista Alberti, en el siglo XV, propuso valores mínimos y máximos para la huella y la contrahuella de la escalera, basándose en la observación de edificios antiguos [Alberti 1443-1452], mientras que tan solo un siglo después, Andrea Palladio [1570] hacía lo propio, pero basándose ahora en razones ergonómicas y funcionales.

Hasta llegar a 1675, año en el que aparece un punto de inflexión en el diseño de escaleras. Nico-

las-François Blondel establece la relación de ergonomía entre la huella y la contrahuella de la escalera (2 contrahuellas + 1 huella = longitud del paso), y que recoge con pocas variaciones la relación establecida entre dichas partes actualmente por el Código Técnico de la Edificación (CTE) en España, normativa que a continuación utilizaremos como base para pensar la escalera. Debe señalarse el aparato iconográfico mediante el cual Sebastiano Serlio [1545] presentó diversas escaleras, pero exclusivamente rectas -evitando dibujar ninguna curva-, a través de una matriz geométrico-configurativa en forma de retícula de ordenación ortogonal (Fig. 2). El motivo de referir el trabajo de Serlio no sería otro que poner en valor el dibujo en 3D con el que el software -y según veremos- permite explorar y comprender conceptos volumétricos de manera intuitiva y creativa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La asignatura de Representación Arquitectónica II, según el Plan de estudios, debe cursarse dentro del segundo año académico del grado de Arquitectura. La asignatura, de tipo cuatrimestral, puede cursarse indistintamente en el primer o segundo cuatrimestre de segundo curso: en el primer cuatrimestre, momento en el que el alumnado aún no ha cursado ninguna asignatura de construcción; o en el segundo cuatrimestre, pudiendo así cursar la asignatura paralelamente a la primera asignatura de construcción o estructuras.

Así, el alumnado no dispone aún de conocimientos técnicos suficientes para resolver constructivamente una escalera; por tanto, el ejercicio a plantear tiene un objetivo introductorio.

La metodología utilizada ha sido la de plantear el ejercicio de una escalera helicoidal, que el alumno deberá resolver a partir de una parametrización utilizando Grasshopper, a través de Rhino.Inside.Revit, un software con un lenguaje y entorno de programación visual, respetando, además, todo aquello establecido por el articulado del CTE.

Al proyectar una escalera que incluya parámetros que permitan controlar no solo la medida de cada parte por separado, sino también la relación entre las partes, y que además permita actualizar el proceso con la modificación de variables para observar el resultado gráfico en tiempo real, resulta adecuado utilizar herramientas como Grasshopper, un entorno de programación visual integrado con herramientas de modelado 3D como Rhinoceros y Revit.

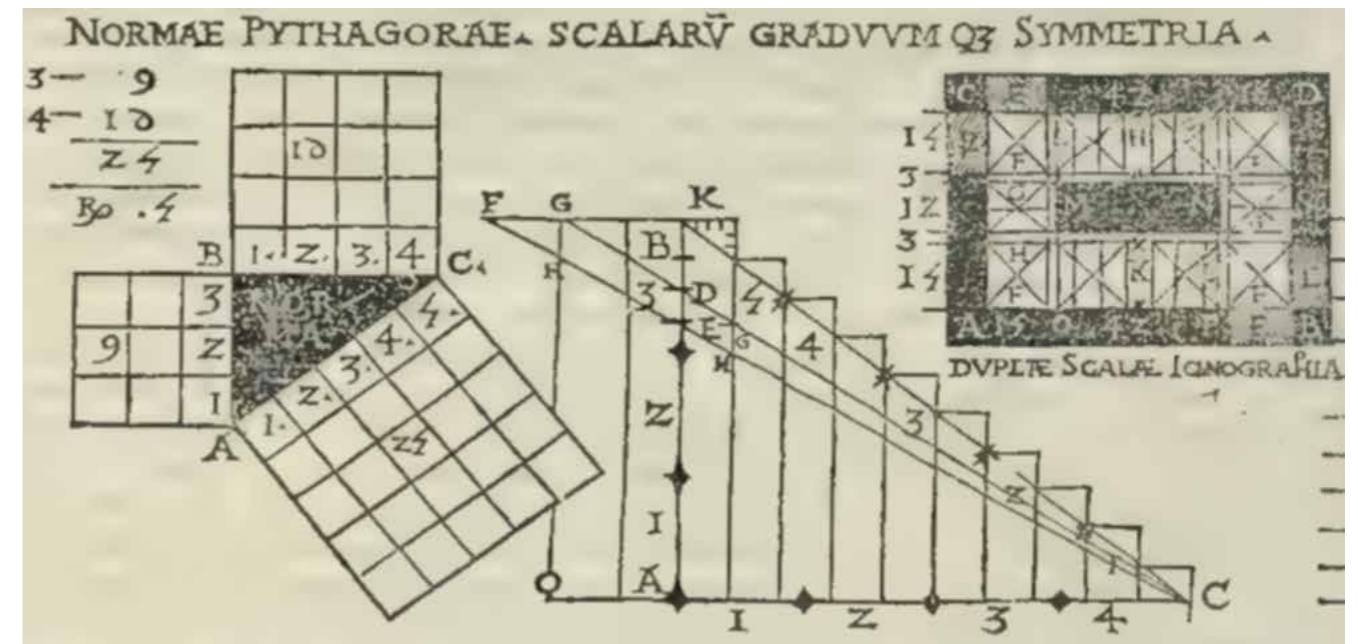


Fig. 1 - Explicación del cuadrado de la hipotenusa según Pitágoras [Vitruvio 1521, L. IX, fol. CXLV-v].

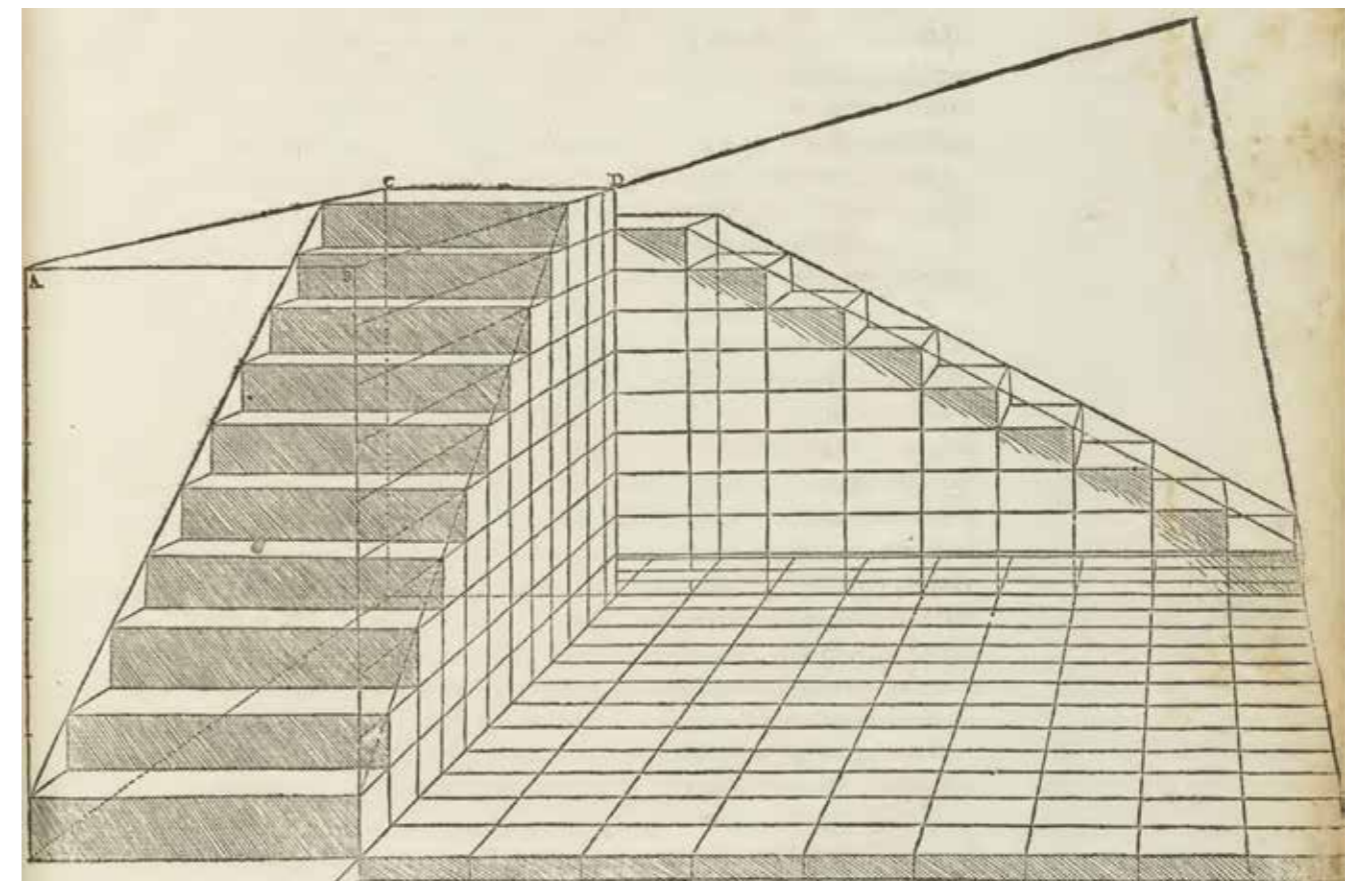


Fig. 2 - Perspectiva geométrica de una escalera a través de una matriz geométrico-configurativa en forma de retícula de ordenación ortogonal [Serlio 1545, L. I, fol. 52-r].

La normativa utilizada como base para la parametrización de la escalera, y actualmente vigente, será el Código Técnico de la Edificación (CTE), y en especial el Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad (DB-SUA), más concretamente, el apartado 1, Seguridad frente al riesgo de caídas, y dentro de él, el artículo 4.2 Escaleras de uso general:

### 2.1.1.- Escalera de tramo recto

Huella (H) mínima 28 cm.  
 Contrahuella (C)  $13 \text{ cm} \geq 18,5 \text{ cm}$  (caso general).  
 La huella H y la contrahuella C cumplirán a lo largo de una misma escalera la relación siguiente:  
 $54 \text{ cm} \leq 2C + H \leq 70 \text{ cm}$  (Fig. 3 a).

### 2.1.2.- Escalera de tramo curvo

Huella (H) mínimo 28 cm, a una distancia de 50 cm del borde interior y 44 cm, como máximo, en el borde exterior (Fig. 3 b).  
 Contrahuella (C)  $13 \text{ cm} \geq 18,5 \text{ cm}$  (caso general).  
 La huella H y la contrahuella C cumplirán a 50 cm de cada extremo la relación siguiente:  
 $54 \text{ cm} \leq 2C + H \leq 70 \text{ cm}$

## RESULTADO ESPERADO

El alumnado deberá resolver la parametrización de una escalera helicoidal que deberá respetar aquellos requisitos enunciados anteriormente para la escalera de tramo curvo, para una altura de 2,75 m y un ancho de tramo de 1,00 m.



Fig. 3 a. - Detalle de la planta de la escalera con tramo curvo [CTE DB-SUA 1. Art. 4].

La actividad deberá desarrollarse durante una sesión de dos horas, en el ámbito de un grupo reducido de entre 15 y 20 alumnos. El profesorado realizará una clase magistral de 30 minutos, en la que presentará el tema de la escalera (nomenclatura, soluciones de diseño, altura de paso, apertura del hueco superior y representación gráfica), expondrá el enunciado de la actividad e introducirá el entorno del software Grasshopper. Esto se hará a través del material de apoyo disponible para el alumnado y de un archivo de Grasshopper con un tramo recto de la escalera de la escuela de Arquitectura resuelto; ejemplo que el alumnado podrá cotejar con la realidad in situ.

A partir de estas condiciones de partida, el alumnado deberá empezar a definir parámetros, básicamente dimensiones o proporciones para cada componente: rangos mínimos y máximos para la altura total de la escalera, la huella, la contrahuella, y número de peldaños. Así como también la preparación de expresiones que permitan comprobar el cumplimiento entre otros de la fórmula de Blondel.

Un mismo modelo paramétrico puede arrojar diferentes resultados según variemos cada parámetro de control. A continuación, definimos un posible resultado (Fig. 4):

Deberá definirse un punto a través de un componente de Grasshopper, Construct Point (Pt), con origen de coordenadas por defecto 0,0,0, y otro punto con un parámetro para la coordenada máxima Z de 2,75 m (Number Slider). A continuación, deberá dibujarse un círculo que debería corresponder con el diámetro más interior de la escalera helicoidal, dicho círculo deberá conectarse con un parámetro (Number Slider) para permitir parametrizar el radio del ojo de la escalera. El componente Offset Curve (Offset) dibujará un círculo paralelo a aquel inicial a una distancia exacta de 1,00 m. Después, el componente End Points (End) permitirá poner un punto

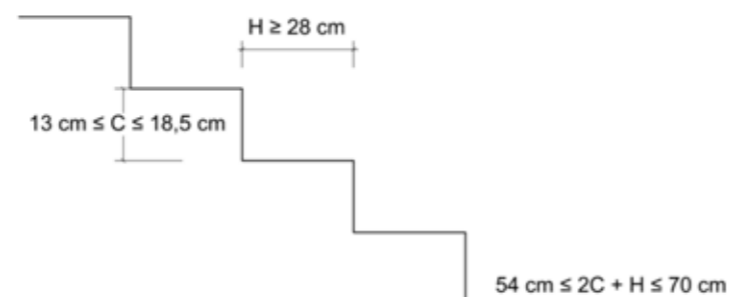


Fig. 3 b. Detalle de la configuración de peldaños en sección [CTE DB-SUA 1. Art. 4].

sobre el perímetro del círculo interior y otro sobre el del círculo exterior, siguiendo un radio, y a través del componente Line (Ln) dibujar en proyección en planta la primera arista de la huella del primer peldaño. La expresión Division (A/B) permite dividir la proyección en planta de la escalera helicoidal que define la escalera,  $360^\circ$ , entre el número de huellas, y obtener el número de grados con el que debe copiarse y girarse la primera línea. El componente Rotate permite realizar esta última operación, y de esta manera puede obtenerse la proyección en planta de la huella del primer peldaño de la escalera. A partir de componentes Ruled Surface (RuleSrf), Surface Split (SrfSplit), y List Item (Item), podrá construirse efectivamente la superficie de la primera huella de la escalera. Finalmente, creando una copia de dicho peldaño, con el componente Series, y rotándola de nuevo a través de Rotate a la vez que va trasladándose sobre el eje Z, puede completarse el esquema de la escalera. Observándose a partir de la inclusión de expresiones que solo un tramo de 0,80 m, y no de 1,00 m según pedía el enunciado, cumpliría todo aquello prescrito para una escalera de uso general, a excepción de la profundidad de la huella en la parte más interior, no llegando a cumplir el 0,17 m mínimo prescrito. Así, la escalera helicoidal proyectada a pesar de cumplir en la mayor parte de lo prescrito para la escalera de uso general sólo podría considerarse para el tipo de uso restringido.

El esquema con la parametrización de la escalera es funcional y permite comprobar el cumplimiento normativo del diseño de la escalera a medida que modificamos la altura, el diámetro, añadimos o reducimos alturas y, por tanto, número de peldaños, y/o modificamos la profundidad de la huella.

La evaluación individual de la actividad deberá realizarse a partir del archivo de Grasshopper, y a través de una rúbrica. Sin embargo, aquí, el punto que interesa sería el de la encuesta de satisfacción que el alumnado deberá realizar después de finalizar la actividad. El cuestionario que seguirá el tipo SEEQ, Students' Evaluation of Educational Quality [Marsh et al., 1970], propondrá una valoración para cada pregunta sobre una escala de 1 a 5. Esta evaluación es muy pertinente debido a que, el resultado académico del alumnado no está directamente relacionado con el nivel de satisfacción con la materia, pero muestra, sin embargo, una correlación directa entre actitud personal del profesorado y resultado académico [Arias, et al., 2023].

Así, el alumnado, será preguntado sobre la opinión que le merece la temporalidad del ejercicio, si el material docente facilitado ha sido el adecuado, la complejidad del contenido, el grado de aprovechamiento de la actividad, y muy especialmente sobre la valoración que hace de todo lo expuesto como herramienta para el aprendizaje del control de la forma del objeto arquitectónico.

## DISCUSIÓN

Abordar el proyecto de arquitectura sin entenderlo ya como un objeto rígido, en el que introducir sólo datos para comprobar, entre otros, el cumplimiento de la normativa, desestima un diseño poco flexible, y aboca incuestionablemente a la parametrización de la arquitectura.

El ejercicio de parametrización de una escalera a partir de la normativa ofrece una primera aproximación a una metodología para la enseñanza y el aprendizaje de la arquitectura. A través de este proceso, el alumnado adquiere habilidades técnicas, con la excusa del cumplimiento normativo, para la optimización del diseño de una escalera.

La utilización de herramientas paramétricas desarrolla en el alumnado la capacidad para resolver problemas de manera lógica, utilizando habilidades como la descomposición, la abstracción, el reconocimiento de patrones y la escritura de algoritmos, promoviendo así, la resolución de problemas, el pensamiento crítico y analítico, y la creatividad, capacidades esenciales para el desarrollo personal, y que además le permitirán adaptarse rápidamente a la actual profesión cambiante del arquitecto. Además, la introducción a Grasshopper como herramienta de diseño paramétrico mediante programación visual permite aprender a construir geometrías complejas, explorando a la vez múltiples soluciones de diseño, y realizando ajustes rápidos y precisos para cumplir diferentes requisitos. La capacidad de visualizar en 3D, a través del visor de Rhinoceros, dentro del propio Rhinoceros o en Revit, y ajustar el diseño en tiempo real, permite también valorar el impacto de cada decisión de diseño en el control de la forma arquitectónica del objeto.

## CONCLUSIONES

Se espera que la actividad de diseño paramétrico de una escalera helicoidal permita aproximar a un alumnado que está aún en el segundo curso del grado de Arquitectura, a la comprensión del diseño paramétrico; a través de la conceptualización teórica que requiere la aplicación de la normativa, y de herramientas avanzadas y actuales, estandarizadas en el ámbito profesional. El análisis de la normativa, asegurará que el alumnado aprenda a diseñar siguiendo diferentes estándares de obligado cumplimiento. Y la creación de un primer esquema de un modelo tridimensional de una escalera, permitirá introducirlo en el mundo de la programación de algoritmos paramétricos, aprendiendo aspectos

como la manipulación y ajuste de variables normativas en el modelo. Así, explorar una forma alejada del dibujo a mano alzada e incluso -por qué no- del dibujo asistido por ordenador, pretende que el alumnado pueda desarrollar la capacidad creativa y de innovación a la hora de desarrollar propuestas. La naturaleza paramétrica del ejercicio obliga a sumergirse en un problema complejo de construcción, como es el del diseño de una escalera, que deberá además de responder a condiciones y requisitos diversos; permitir avanzar en el conocimiento del alumnado sobre el control de la forma del objeto arquitectónico.

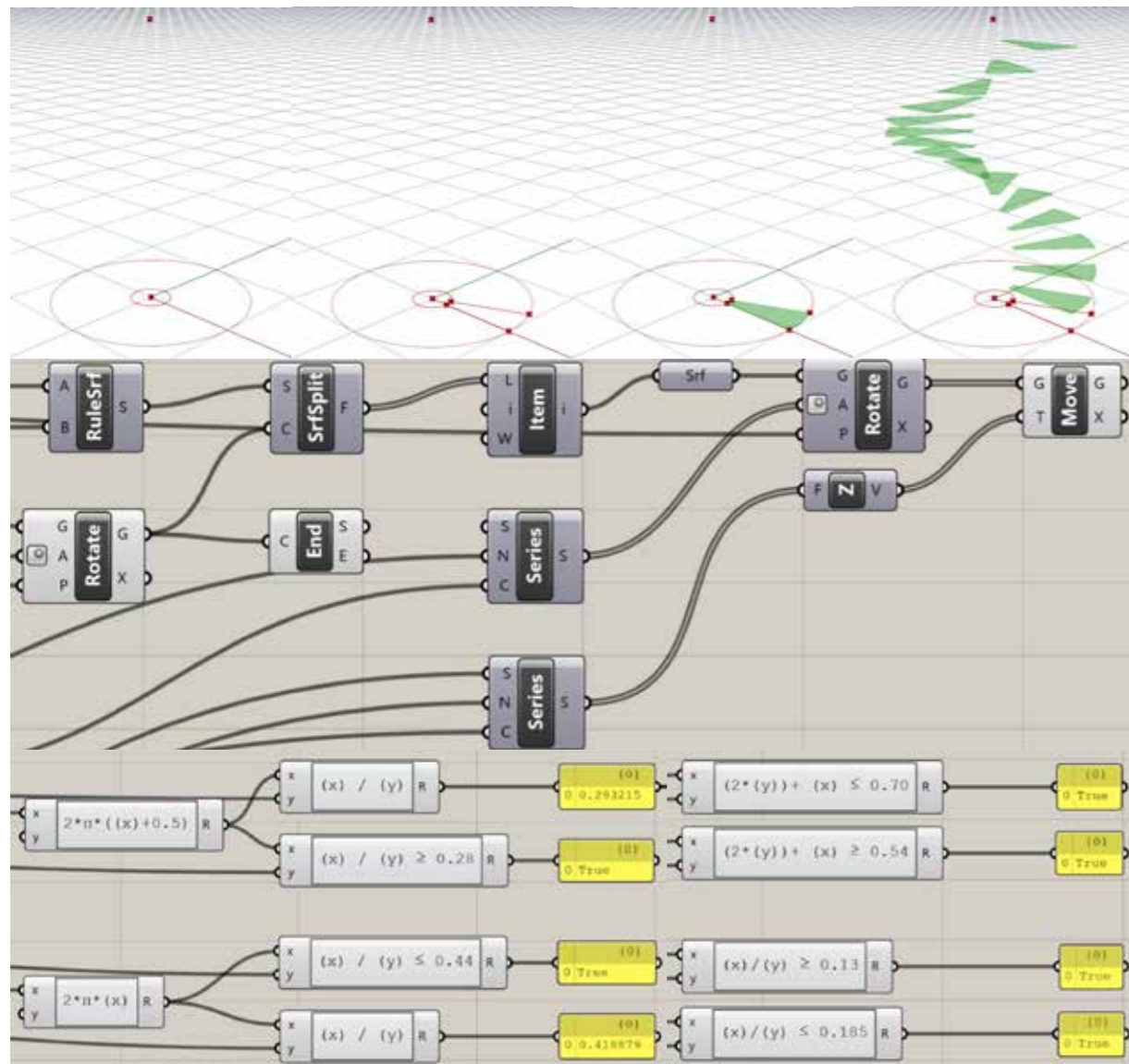


Fig. 4 - Detalle del proceso de parametrización del esquema de una escalera helicoidal [González, Giménez, Empler 2024].

## BIBLIOGRAFÍA

Alberti L. B. [1443-1452] (1582). *Los diez libros de Architectura de Leon Baptista Alberto*. Alfonso Gómez Impresor de su Majestad.

Arias T., Pache M., Rodríguez L., Azirar H., (2023). Cuestionario SEEQ: instrumento de información para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje. In *Transinformação*. Vol. 36, e 237386.

Blondel F. (1675). *Cours d'architecture enseigné dans l'Academie royale d'architecture*. Paris: De l'imprimerie de Lambert Roulland.

Código Técnico de la Edificación (CTE). *Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad (DB-SUA)*. 1 Seguridad frente al riesgo de caídas.

Grasshopper (2024). [https://www.rhino3d.com\\_learn/?query=kind:%20grasshopper&modal=null](https://www.rhino3d.com_learn/?query=kind:%20grasshopper&modal=null)

Marsh H., Roche L., (1970). SEEQ Students' Evaluation of Educational Quality: Multiple Dimensions of University Teacher Self-concept. In *Instructional Science*, 8 (5), pp 439-469.

Palladio A. (1570). *I quattro libri dell'architettura*. Venecia: appresso Domenico de' Franceschi.

Redondo E., Fonseca D., Giménez L., Santana G., Navarro I., (2012). Alfabetización digital para la enseñanza de la arquitectura. Un estudio de caso. In *Arquiteturarevista*. Vol. 8, n. 1, pp 76-87. São Leopoldo, Brasil: Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Serlio S. (1544). *Regole generali di architettura di Sabastiano Serlio Bolognese: sopra le cinque maniere de gliedifici, cioe, toscano, dorico, ionico, corinthio, e composito; con gli essempli de l'antiquita, che per la maggior parte concordano con la dottrina di Vitruuio*. Venecia.

Vitruuio (1521). *Di Lucio Vitruuio Pollione De architectura libri dece*. Como.

Vitruvio M. (1787). *Los Diez libros. De Architectura de M. Vitruvio Polión*. Madrid: Imprenta Real.

# MODELO DIGITAL PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DEL PATRIMONIO. LA GROTTA DI SAN MICHELE ARCANGELO

*DIGITAL MODEL FOR EFFICIENT  
HERITAGE MANAGEMENT.  
THE GROTTA DI SAN MICHELE  
ARCANGELO*

AUTHOR

**Rocío Lamas**

Università degli Studi di Salerno- Universidad Nacional de Córdoba

EMAIL

[r.lamas@studenti.unisa.it](mailto:r.lamas@studenti.unisa.it)

## KEYWORDS

PATRIMONIO CULTURAL HIPOGEO  
CONSERVACIÓN  
HBIM  
FOTOGRAMETRÍA  
GESTIÓN

## ABSTRACT

El presente trabajo busca facilitar una herramienta para la tutela, gestión y conservación del patrimonio cultural hipogeo a través de un enfoque Scan-to-HBIM. El objetivo es obtener un modelo digital que albergue y brinde información necesaria para ser implementado como un instrumento de control sobre el caso de estudio, proporcionando los indicadores que nos permitan evaluar su deterioro, para así poder planificar las intervenciones de mantenimiento sobre el mismo.

*This work aims to provide a tool for the protection, management, and conservation of underground cultural heritage through a Scan-to-HBIM approach. The goal is to obtain a digital model that houses and provides the necessary information to be implemented as a control instrument for the case study, offering indicators that allow us to assess its deterioration, thus enabling the planning of maintenance interventions.*

## INTRODUCCIÓN

En Italia, podemos encontrar una amplia variedad de lugares declarados Patrimonio de la Humanidad. Analizando la región de Campania, se destacan particularmente los espacios en Olevano sul Tusciano, Salerno. Esta forma parte de un santuario de peregrinación que data de la Edad Media, compuesta por un recorrido devocional interno de 200 metros, con capillas dispersas en él, cada una compuesta por una particular arquitectura [Di Muro, 2016], y las dos capillas principales (Fig. 1) a su vez cuentan con importantes frescos cristianos, lo que convierte a este espacio en un bien dotado de un gran valor patrimonial de diferentes características.

Desafortunadamente, este valioso espacio y su arquitectura se encuentran en riesgo, principalmente debido a la constante presencia de agua subterránea y las variaciones de humedad y temperatura, factores que representan un gran desafío para su conservación [World Monuments Fund, 1996]. Es por esto, que se consideran necesarias distintas operaciones para el mantenimiento de la misma, pero para poder programar las intervenciones de salvaguarda, resulta necesario realizar previamente un proceso de catalogación y análisis de los indicadores que nos permitan supervisar el estado de salud de este patrimonio histórico-artístico-arquitectónico, evaluando su deterioro y planificando las intervenciones necesarias para su preservación a lo largo del tiempo.

## ESTADO DEL ARTE

El abordaje que en la actualidad se toma en relación al patrimonio, excede la dimensión puramente física del objeto en sí, dándole mayor importancia a la dimensión inmaterial que lo rodea, la de su trascendencia cultural. Esto lo convierte en un elemento complejo, generando una necesidad de intervenir en él desde distintos enfoques multidisciplinares, con metodologías específicas. Es por esto que, la reflexión que se ha abordado en Italia en el último tiempo en cuanto a la relación que tenemos con el patrimonio cultural, ha girado en torno a la problemática del conocimiento, ligado al objetivo de su conservación. [Pinto Puerto, 2020]

Para su conocimiento y análisis crítico, se ha puesto el enfoque en el relevamiento de tipo Scan-to-HBIM del patrimonio y de la arquitectura, el cual

responde a la transición digital en la que el mundo ha estado inmerso durante los últimos años. Esta digitalización y la creación de modelos virtuales nos brindan grandes herramientas que nos permiten, en las distintas disciplinas en general, pero en la arquitectura y los bienes construidos en particular, tener un mayor control sobre los mismos, ya sea para su visualización, divulgación, estudio o intervención, según el nivel de detalle y la cantidad de información que se le introduzca al modelo.

El término HBIM al cual se hace referencia [Murphy, 2009] indica una nueva forma de modelar las construcciones históricas mediante un proceso BIM, generando una base de datos a partir de los modelos creados para diversos usos, como pueden ser su divulgación, análisis térmico, gestión, etc.

Esta metodología, al ser aplicada a edificios históricos, enfrenta particulares desafíos, debido a su naturaleza única. Estas suelen tener variaciones estructurales, materiales antiguos, formas irregulares y detalles arquitectónicos únicos que requieren un enfoque especializado. Además, en estos modelos se dificulta la introducción de información de archivo, dada la fragmentariedad de los datos históricos.

Para afrontar la complejidad previamente mencionada desde un enfoque contemporáneo, se implementa como principal técnica para el relevamiento, la obtención de datos mediante técnicas avanzadas de escaneo, para la posterior generación de un modelo digital. El resultado de este relevamiento integrado, consiste en una nube de puntos, lo cual resulta en la base para obtener una modelación paramétrica reality-based (basada en la realidad). En este contexto, entendemos que la implementación de la metodología HBIM es necesaria para recolectar información heterogénea sobre el bien construido, y que esta información resulte oportunamente organizada y catalogada y, que pueda ser constantemente actualizada. Entre las técnicas implementadas con estos objetivos, la fotogrametría resulta una de las más precisas y adecuadas para obtener información de determinados bienes, para aumentar así el nivel de desarrollo de los modelos.

Este modelo digital conseguido, podría resultar en una base de datos, útil en el ámbito de la conservación del patrimonio, ya que para poder planificar y gestionar las intervenciones de mantenimiento, es posible establecer los parámetros sobre los que se debe actuar en mayor o menor medida, eligiendo el momento justo, y las operaciones más pertinentes.

Para ello, es necesario abordar la investigación del caso de estudio desde una perspectiva contemporánea, integrando la digitalización del patrimonio.

La digitalización de los espacios hipogeos presenta además otros desafíos significativos, debido a las condiciones únicas en las que se encuentran. En primer lugar, la falta de iluminación natural puede dificultar la captura de imágenes claras necesarias para la fotogrametría o distintos escáneres que requieren de la incidencia de luz. Además, el acceso limitado y las obstrucciones físicas pueden dificultar la colocación de equipos de relevamiento en ubicaciones óptimas. Por otro lado, las condiciones ambientales, como la humedad y la presencia de agua, pueden afectar la calidad de las imágenes y la operación de los equipos. La variabilidad en la escala y las dimensiones de los espacios hipogeos también requiere flexibilidad en la planificación y ejecución del relevamiento para garantizar una cobertura completa y precisa. Abordar estos desafíos requiere una cuidadosa planificación, el uso de equipos y técnicas adecuadas, y precauciones de seguridad para garantizar el éxito del relevamiento en espacios hipogeos. Al aplicar los distintos métodos de relevamiento en estos espacios, es importante tener en cuenta ciertas consideraciones, como asegurar la utilización de imágenes con la máxima resolución posible, evitar que las fotos estén borrosas, y limitar los objetos en movimiento, entre otros aspectos.

## SOLUCIÓN PROPUESTA

El objetivo abordado consistió en explorar una nueva metodología de gestión del patrimonio, obtenida a través de un proceso de digitalización integrado mediante el enfoque Scan to HBIM, con la necesidad de incorporar nuevos instrumentos para la protección del patrimonio. Esto se buscó a partir de la generación de una base de datos que guíe las intervenciones para la gestión, protección y conservación del mismo. Se ha adoptado una metodología de trabajo experimental, teniendo en cuenta que el enfoque no sigue un procedimiento lineal, sino más bien de tipo iterativo, es decir, que se caracteriza por ser un proceso de ida y vuelta, o prueba y error.

En primer lugar, se buscó optimizar el modelo BIM en Autodesk Revit de las principales capillas de la gruta (Fig. 2), a partir de una nube de puntos integrada preexistente, obtenida de abordajes anteriores.

Mediante esta operación se buscó profundizar su Nivel de Desarrollo (LOD) a partir de la incrementación de su Nivel Geométrico (LOG). Para esto, a partir de la nube de puntos se generaron geometrías básicas a las que luego se le incorporó distinta información, como por ejemplo sus formas irregulares y vacíos.

En segundo lugar, se realizó un relevamiento fotogramétrico en el sitio, ya que se consideró que la fotogrametría sería la técnica más adecuada para adquirir determinada información del bien para incorporar en el modelo, como, por ejemplo, los frescos presentes en las dos capillas principales. El mayor



Fig. 1 - Capillas principales en el interior de la gruta y algunos de sus frescos

desafío que se encontró en esta fase fue en relación a la iluminación necesaria para una correcta captura de imágenes, ya que dentro de la gruta y sobre todo a los frescos, no incide una iluminación natural uniforme. Es por esto que se colocaron reflectores para obtener una iluminación difusa y uniforme, disminuyendo el margen de error. Luego del relevamiento, se procedió al procesamiento de los datos adquiridos, buscando generar el material fotorrealista, es decir, las texturas a incorporar en el modelo BIM, para incrementar su Nivel de Información (LOI).

Aquí también se presentaron distintas fases o etapas: el primer paso que se realizó para la creación del material fotorrealista fue la construcción de las ortomágenes en el software Agisoft Metashape de cada muro en donde hay un fresco, es decir, de cada muro que posteriormente se transformó en una textura para insertar en BIM. Esto consistió en generar una nube de puntos densa, la cual posteriormente conformó una Mesh o malla, a la que se le generó la textura final. A partir de esto, se obtuvieron ortomosaicos. En este punto, una vez más se presentó como un problema la complejidad e irregularidad de las formas de los bienes patrimoniales. En este caso, se han abordado las superficies a proyectar de tres diversas maneras. Para las superficies planares, se trabajó con proyecciones planares, generando un ortomosaico tradicional (Fig. 3). Luego, para los tres ábsides de la capilla principal, se optó por tomar la parte inferior como una forma semicilíndrica, generando proyecciones cilíndricas a partir de un eje de rotación y un radio previamente definidos (Fig. 4); mientras que la parte superior se asemeja a una semicúpula, la cual fue generada a partir de una proyección planar desde su vista inferior (Fig. 5), a la cual posteriormente se le debió aplicar una distorsión en el software GIMP, eligiendo este mismo por ser de código abierto.

Para lograr una representación más realista ha trabajado mediante la generación de materiales PBR (Physically Based Rendering). Este tipo de material se ha tenido en cuenta ya que, entre sus ventajas, permite la creación de materiales con más definición o más realista, debido a que, en lugar de depender solo de propiedades visuales como el color y la textura, los materiales PBR también consideran características físicas como la reflectividad, la rugosidad y otros aspectos. Entre los mapas o materiales utilizados en este procedimiento encontramos: mapa difuso o de texturas, mapa de normales,

mapa de alturas (obtenidos de Agisoft Metashape), mapa de suavidad y mapa de oclusión ambiental, obtenidos del software de código abierto Materialize (Fig. 6), a partir de los anteriores.

Por último, en una última fase del procedimiento, se incorporó al modelo digital previamente generado las texturas.

Al corresponder a los frescos de las capillas, estas fueron aplicadas como "pintura". Para esto, tomando como base el procedimiento planteado en "UAV photogrammetric survey and Image-Based elaborations for an Industrial Plant" [Sanseverino, et al., 2022], los pasos a seguir fueron: primero, generar por cada fresco un material en la ventana "Explorador de Materiales" de Revit. En este paso, luego de insertar el Mapa de Texturas, se procedió a darle una escala, según sus medidas reales.

Luego, fue necesario definir el desplazamiento en dirección vertical y horizontal y, en el caso de ser necesario, ajustar la escala. Si bien se entiende que la alineación manual no es la ideal, sobre todo para los casos que involucran al patrimonio, actualmente se presenta esta limitación en el software, dado que la colocación adecuada de la textura depende de la corrección manual tanto de su escala como de su desplazamiento.

Una vez acomodada la imagen en el muro, se agregaron los mapas en el espacio destinado a cada uno, a los cuales también debieron insertarse manualmente sus datos en relación a la escala y desfase. Cada mapa se insertó para completar una característica del material general, es decir, el mapa difuso como material genérico, el mapa de suavidad en "Lustre", el mapa de oclusión ambiental en "Autoiluminación" y el mapa de alturas en "Relieve".

## RESULTADOS

A modo de cierre de la metodología empleada para generar este modelo digital y buscando aprovechar esta herramienta, se ha considerado la incorporación del mismo a Autodesk Viewer (Fig. 7), una plataforma online que permite visualizar, analizar y colaborar en diseños en 3D creados con diversos programas de Autodesk, entre ellos Revit.

Esta permite diversos niveles de interacción con el modelo, resultando particularmente útil para compartir el modelo digital de manera sencilla, pudiendo ser utilizada desde cualquier dispositivo móvil.

Además, posibilita una rápida visualización del modelo, seleccionando herramientas para operar

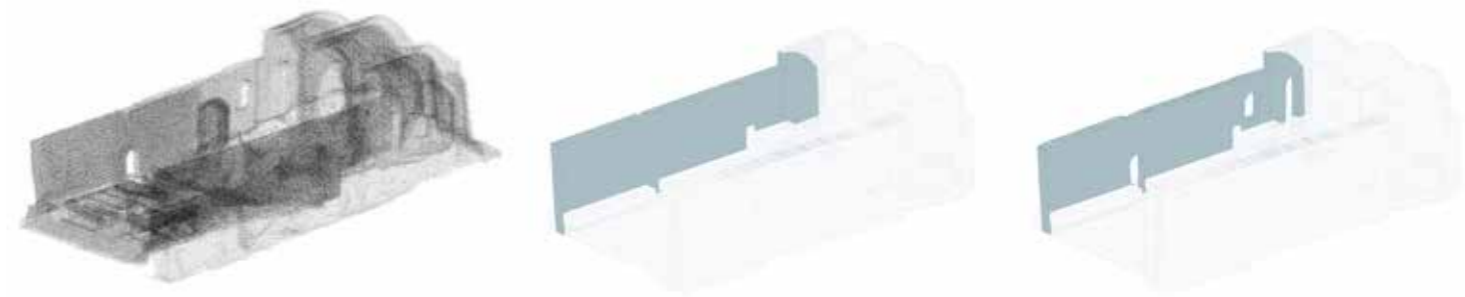


Fig. 2 - Etapas desde Nube de puntos hasta incorporación de geometría precisa.

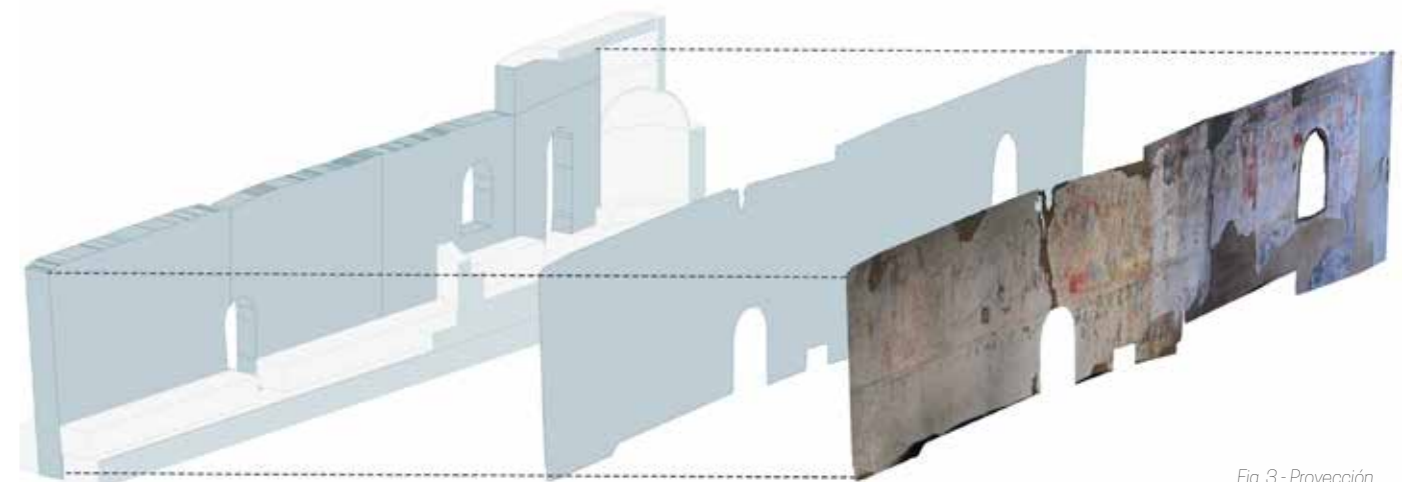


Fig. 3 - Proyección

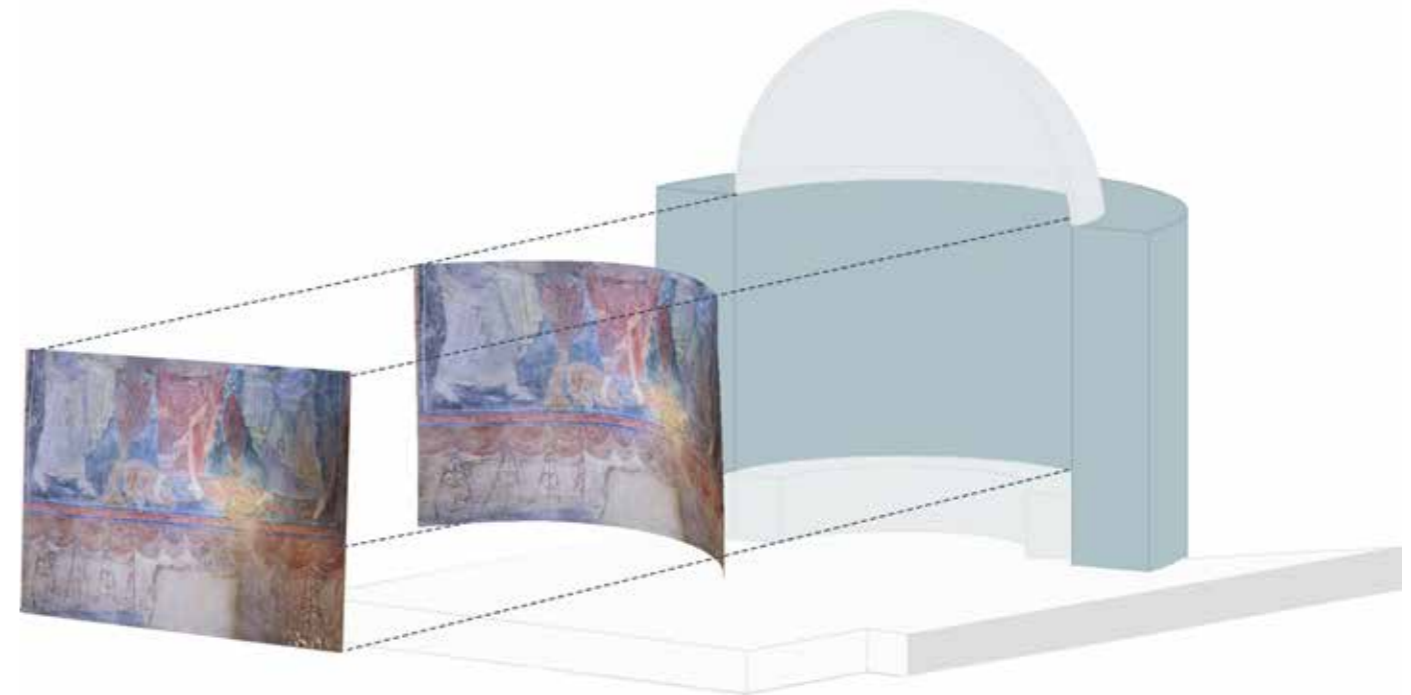


Fig. 4 - Proyección del ortomosaico sobre una superficie semicilíndrica. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 5 - Proyección del ortomosaico sobre una semicúpula- Fuente: Elaboración propia.

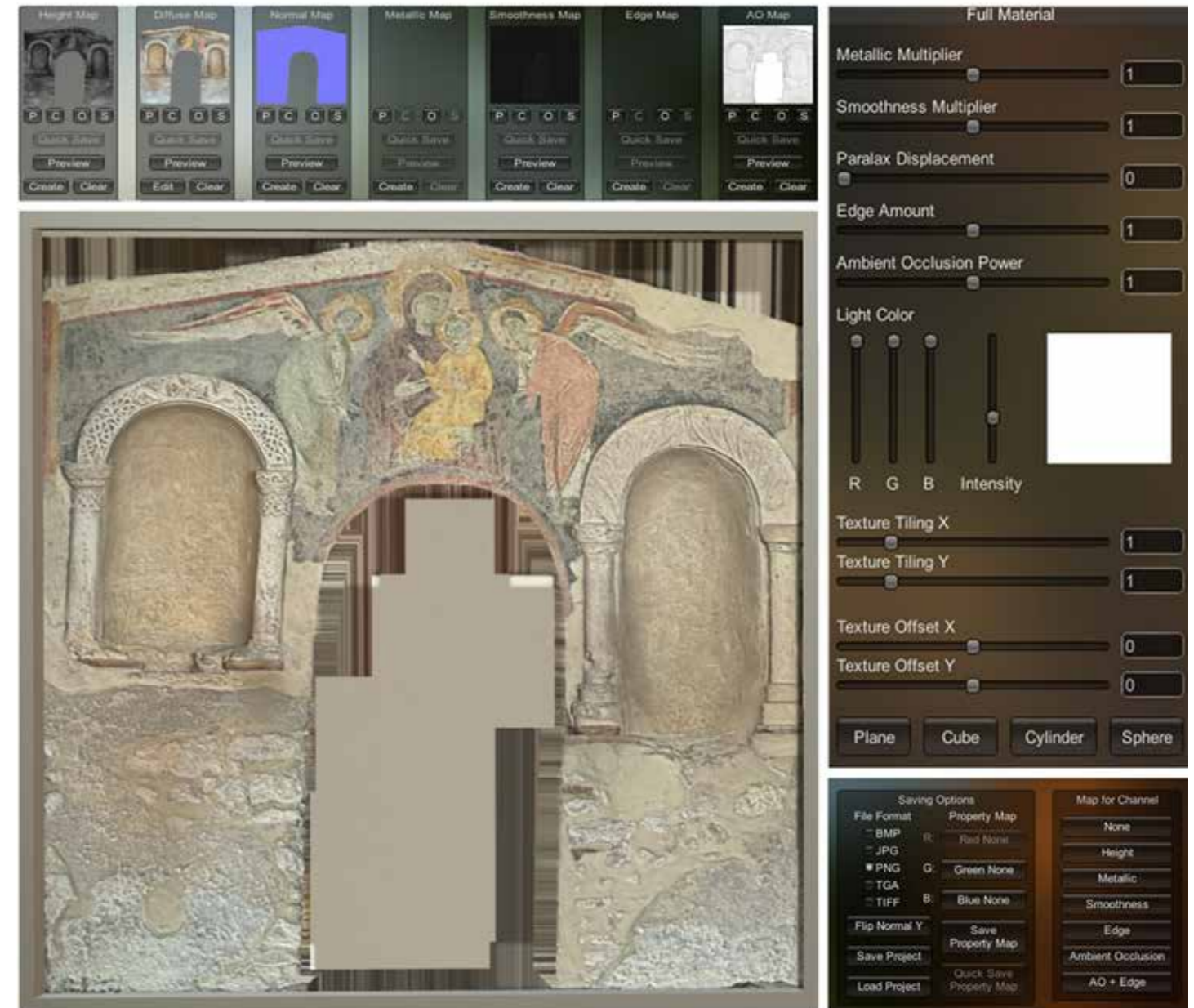


Fig. 6 - Software Materialize- Fuente: Elaboración propia.

sobre el mismo, y accediendo a las propiedades de cada uno de sus elementos (por ejemplo, se podrían leer las propiedades de cada muro, de cada fresco, y sus parámetros de información).

Esta herramienta se utilizó con el fin de promover la colaboración interdisciplinaria entre los diversos técnicos involucrados en su gestión, así como la participación colectiva indispensable para la conservación de este patrimonio.

Además, se logró que la definición de las imágenes generadas a partir de la texturización permita generar una herramienta para la evaluación precisa de los mismos. Por esto, la creación de representaciones realistas o 'renders' resultó crucial para poder realizar un seguimiento de su deterioro y la implementación de medidas de conservación adecuadas. Asimismo, este tipo de imágenes pueden ser utilizadas para la divulgación del patrimonio, para promover la conciencia sobre la importancia de su conservación, aprovechando la poderosa herramienta de la educación para la valorización del patrimonio. Esta focalización en el estudio del degrado es una de las principales causas por las que se considera fundamental trabajar con un software de renderizado, ya que este permite establecer la base de imágenes que muestre el estado actual del espacio con una mayor definición que la proporcionada por el software Revit.

Por último, para verificar y evaluar la calidad del modelo BIM en cuanto a su precisión geométrica, se llevaron a cabo pruebas en relación al LOA (Nivel de Precisión), definido por el U.S. Institute of Building Documentation [USIBD, 2016] como el grado de precisión alcanzado en la documentación y representación de un objeto o estructura en un modelo digital, según los desplazamientos o desviación geométrica con respecto a la nube de puntos.

Estas pruebas se realizaron utilizando Point Layout (Fig. 8), un plugin de Autodesk que analiza las superficies y las representa mediante una escala de colores según sus desplazamientos.

En este software, al seleccionar las superficies que se deseaba evaluar, se estableció un umbral para medir la desviación. Cabe aclarar que, como se puede ver en las figuras, se encuentran algunas pequeñas porciones del modelo representadas en azul y rojo, lo que indica una mayor desviación de estas áreas con respecto a la nube de puntos, siendo éstas el resultado de las particularidades del entorno construido y del paso del tiempo en el mismo.

## CONCLUSIONES

La aplicación de esta metodología al caso de estudio permitió demostrar la importancia crítica de la digitalización como herramienta de salvaguarda. Adoptar tecnologías avanzadas ya no es una opción, sino un requisito indispensable para una correcta transmisión del patrimonio a las futuras generaciones.

En este proceso, la metodología HBIM y, en particular, el procedimiento Scan-to-BIM permiten encontrar soluciones muy precisas para abordar el desafío que representa la complejidad de los sitios patrimoniales. Debido a esto, su gestión requiere de un enfoque metodológico y experimental, donde el proceso de prueba y error se convierte en parte integral en la búsqueda de soluciones efectivas, adaptando las metodologías a las necesidades específicas de cada sitio.

Por último, es importante destacar que la adaptabilidad del método aplicado sirve para promover su implementación en otros contextos para un impacto global en el ámbito del patrimonio, y sobre todo en el patrimonio hipogeo, pudiendo replicar este procedimiento según las características de cada caso específico.

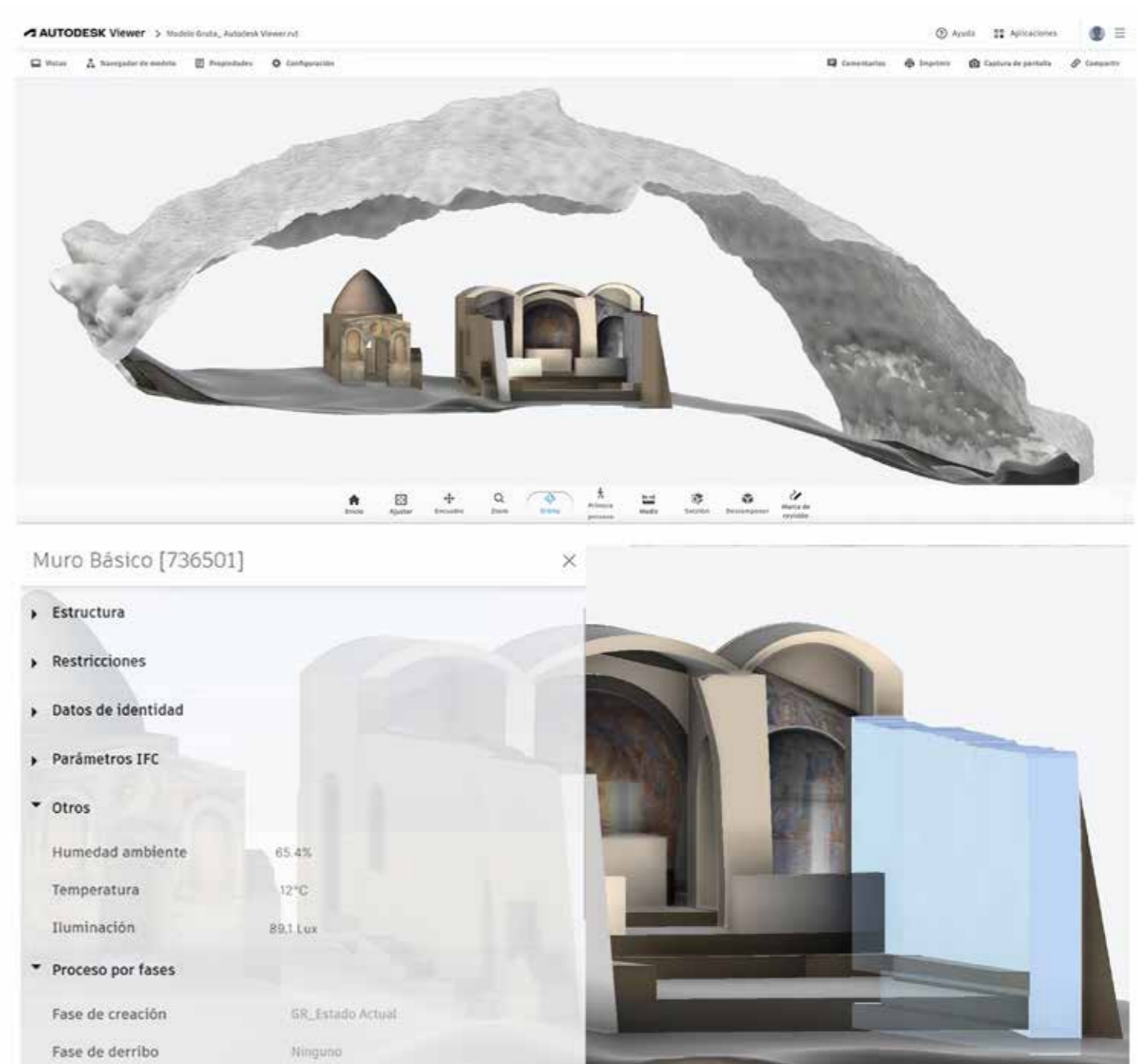


Fig. 7 - Interfaz de Software Autodesk Viewer y muro con sus propiedades. Fuente: Elaboración propia.



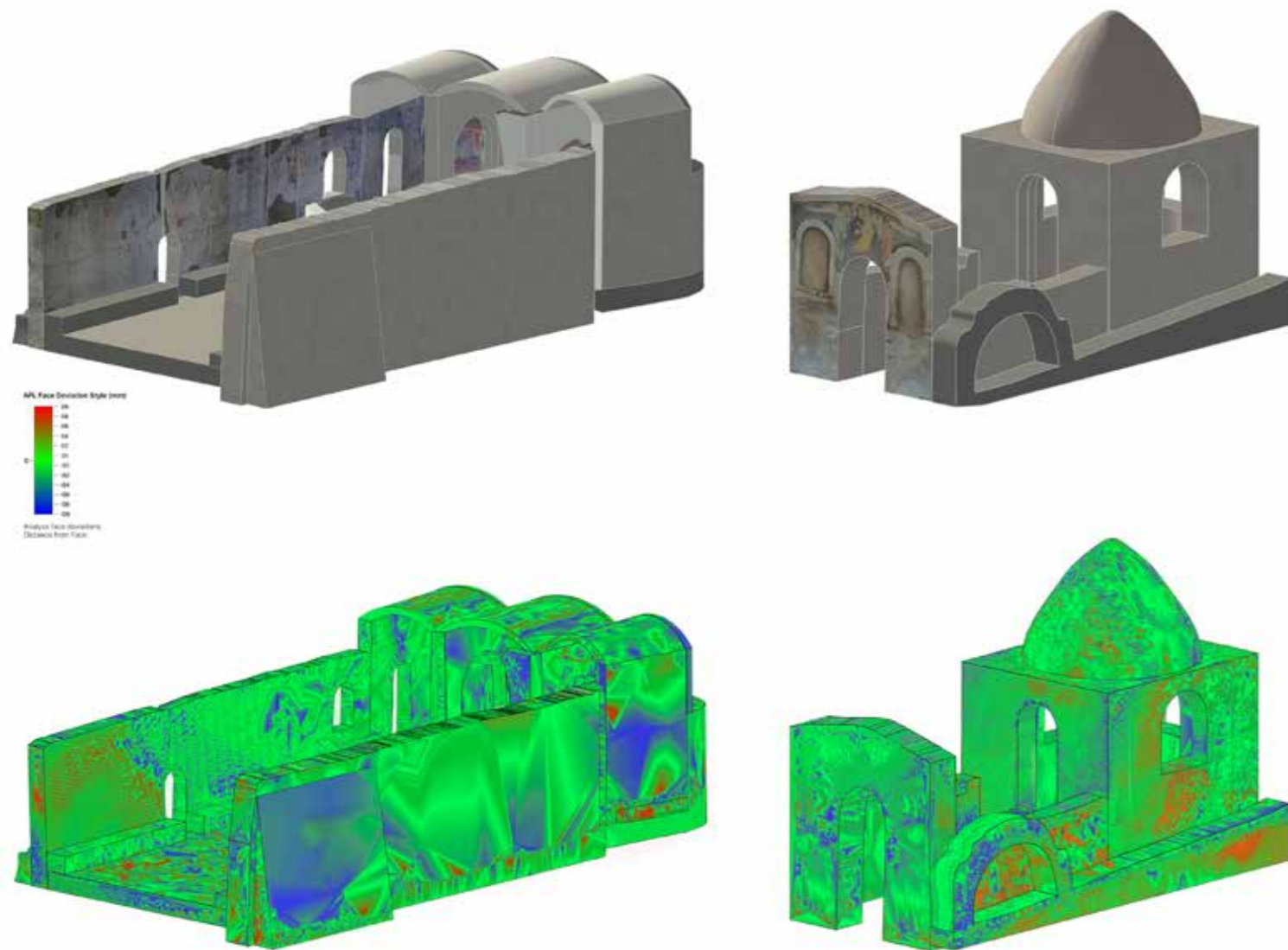


Fig. 8 - Resultados del análisis de desviación geométrica Point Layout.  
Fuente: Elaboración propia

## BIBLIOGRAFÍA

Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.5 [www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_5\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf)

Albert, J.-L., Charbonnier, P., Chavant, P., Foucher, P., Muzet, V., Prybyla, D., Perrin, T., Grussenmeyer, P., Guillemin, S., and Koehl, M. (2013): Devising a visual inspection system for canal tunnels: preliminary studies, *In Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W2, 13–18. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-13-2013>

Alshwabkeh and Baik Heritage Science (2023): Integration of photogrammetry and laser scanning for enhancing scan to HBIM modeling of Al Ula heritage site. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00997-2>

Aricò, M., La Guardia, M., Lo Brutto, M. (2023): Web exploration of cultural heritage with limited accessibility: first experimentation for hypogeum archaeological sites. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-111-2023>

Benton, J.D., Raffaldi, M. (2016): Close-range photogrammetry in underground mining ground control. DOI: 10.1117/12.2236691

Catasto cavità artificiali. <https://www.fscampania.it/catasto-2/catasto-cavita-artificiali/> - Último acceso 07/01/2024

Catasto delle grotte della Campania. <http://sit.regione.campania.it/catastogrotte/> - Último acceso 07/01/2024

Consejo Internacional de Monumentos y Sitios [ICOMOS]. <https://www.icomos.org/en> - Último acceso 07/12/2023

Di Cunzolo, Vittorio; Di Muro, Alessandro; La Manna, Francesco; Mastrangelo Marianna (2011): *La grotta di San Michele ad Olevano sul Tusciano. Storia, archeologia e arte di un santuario altomedievale*. Itinera

Di Muro, Alessandro (2016): *Vivere e morire in un centro di pellegrinaggio longobardo: San Michele di Olevano sul Tusciano (secc. VIII-IX)*. 10.1484/J. HAM.5.113731

Federazione Speleologica Campana. <https://www.fscampania.it/> - Último acceso 07/01/2024

Giordano, M., Barba, S. (2012): *Le geometrie del decoro architettonico. Sistemi di presa scanning 3D e prototipazione*. Collana: Quaderni di Incontri sul Disegno, fondata da Vito Cardone, CUES.

Incerti, Manuela (2022): *La proiezione centrale come sistema di tracciamento sulle pseudo-cupole del V secolo*. doi.org/10.3280/oa-832-c49

Karel Pavelka Jr. (2022): *Photogrammetry, laser scanning and HBIM for construction diagnostic*. 10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-171-2022

Luvidi, L., Prestileo, F., De Paoli, M., Riminesi, C., Manganelli Del Fa, R., Magrini, D., Fratini, F. (2021): *Diagnostics and monitoring to preserve a hypogeum site: the case of the Mithraeum of Marino Laziale (Rome)*. <https://doi.org/10.3390/heritage4040235>

Murphy, M., MCGovern, E., Pavia, S. (2009): *Historic building information modelling (HBIM)*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]: Patrimonio mundial. <https://www.unesco.org/es/world-heritage> - Último acceso 07/12/2023

Pinto Puerto, Francisco Sebastián (coord.) (2020): Modelos digitales de información en la tutela sostenible del patrimonio cultural. *In Contribución al conocimiento e innovación social*. Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla (Colección Arquitectura, n.º 44).

Sanseverino A., Limongiello M., Fiorillo F. (2022): *UAV photogrammetric survey and Image-Based elaborations for an Industrial Plant*. DOI: 10.20365/disegnarecon.29.2022.15

Tanduo, B., Chiabrando, F., Coluccia, L., Auriemma, R. (2023): *Underground heritage documentation: the case study of Grotta Zinzulusa in Castro (Lecce-Italy)* <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1527-2023>

U.S. Institute of Building Documentation [USIBD] (2016): *USIBD Level of Accuracy (LOA) In Specification Guide*. Version 2.0.

World Monuments Fund (2018): *Grottoes of San Michele*. <https://www.wmf.org/project/grottoessan-michele> - Último acceso 27/12/2023

# MODELOS DE INFORMACIÓN PARA VALORIZAR LA ARQUITECTURA ITALIANA: EL CLUB ITALIANO DE ROSARIO

## INFORMATION MODELS TO ENHANCE ITALIAN ARCHITECTURE: THE ITALIAN CLUB OF ROSARIO

### AUTHOR

**Marco Limongiello<sup>1</sup>, Hector Carlos Lomonaco<sup>2</sup>, Carolina Rainero<sup>3</sup>, Paula Lomonaco<sup>2</sup>,  
Andrea di Filippo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Salerno;

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario;

<sup>3</sup> Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño, Universidad Nacional de Rosario

### EMAIL

[mimongiello@unisa.it](mailto:mimongiello@unisa.it);  
[agrimhlomonaco@yahoo.com.ar](mailto:agrimhlomonaco@yahoo.com.ar)  
[carorain@hotmail.com](mailto:carorain@hotmail.com)  
[paulalomonaco@hotmail.com](mailto:paulalomonaco@hotmail.com)  
[anddifilippo1@unisa.it](mailto:anddifilippo1@unisa.it)

## KEYWORDS

LEVANTAMIENTO DIGITAL  
SLAM  
DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO

## ABSTRACT

El presente trabajo se centra en un trabajo conjunto entre la Universidad de Salerno y la Universidad Nacional de Rosario sobre el relevamiento tridimensional y la modelización tridimensional del Circolo Italiano de Rosario, edificio histórico que constituye una manifestación arquitectónica de la tradición e identidad italianas en suelo argentino. Las actividades realizadas constituyen un punto de partida para propuestas de recuperación y refuncionalización de la estructura.

*This work focuses on a joint effort between the University of Salerno and the National University of Rosario on the three-dimensional survey and modeling of the Circolo Italiano in Rosario, a historic building that represents an architectural expression of Italian tradition and identity on Argentine soil. The activities carried out serve as a starting point for proposals for the recovery and repurposing of the structure.*

## INTRODUCCIÓN

Los enfoques modernos de la documentación del patrimonio requieren bases de datos digitales, constituidas principalmente por modelos basados en la realidad. Estos últimos representan la base para el desarrollo de digitalizaciones paramétricas orientadas a la metodología BIM, un soporte válido en los procesos de toma de decisiones para la planificación y diseño de intervenciones de restauración y refuncionalización. La creciente demanda de datos ha impuesto la optimización de los flujos de levantamiento y restitución, tanto en términos de adquisición y procesamiento, como de gestionabilidad y transferibilidad de los productos digitales. En este sentido, la introducción del enfoque SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping) ha permitido flexibilizar los procedimientos de documentación, renunciando en parte a la gran precisión obtenible con técnicas de levantamiento como el TLS (Terrestrial Laser Scanning), pero permitiendo digitalizar superficies y volúmenes particularmente extensos con un nivel de detalle compatible con la modelización paramétrica posterior. El objetivo de este trabajo es verificar cómo un levantamiento spedito con un enfoque SLAM puede apoyar las actividades de documentación del patrimonio existente. La experiencia que se expone en este trabajo refiere a diferentes acciones que se desarrollaron en el marco del convenio de colaboración interinstitucional entre la Universidad de Salerno y la Universidad Nacional de Rosario con relación a la recuperación del Club Italiano de la ciudad de Rosario. Inicialmente, en el año 2020, se había celebrado un convenio de colaboración entre el Club Italiano y la Universidad Nacional de Rosario para desarrollar un Plan de restauración y rehabilitación de la sede social del Club debido a que la edificación presentaba un deterioro tal que ponía en riesgo su integridad.

El trabajo se inició con el relevamiento del estado de conservación del inmueble, se elaboró un diagnóstico de patologías y se propuso un Plan integral de conservación. La primera etapa se centró en un relevamiento fotográfico y métrico ya que no se contaba con documentación planimétrica actualizada que fuera base para la propuesta del proyecto de recuperación del Club. En una segunda etapa, se propuso avanzar en la realización de relevamientos complementarios –digitales tridimensionales con tecnología SLAM– y de fachadas mediante fo-

togrametría como parte del proyecto “Técnicas de estudio, recuperación y conservación aplicadas al patrimonio arquitectónico de la Ciudad de Rosario: el caso de estudio del Club Italiano”, cofinanciado dentro de la convocatoria Intercambios Juveniles 2023 del MAECI.

## EL CLUB ITALIANO EN LA CIUDAD DE ROSARIO

Desde mediados del siglo XIX y hasta principios del XX la ciudad de Rosario recibió un importante aporte inmigratorio principalmente de origen italiano. Esta influencia determinó una impronta particular a la ciudad que se evidencia en el lenguaje italianizante presente en las edificaciones.

El Club Italiano de Rosario, ubicado en la calle Buenos Aires 1252 de la ciudad de Rosario, fundado el 14 de diciembre de 1914, no sólo ocupa un lugar destacado como notable hito arquitectónico de la ciudad, sino que encarna de manera ejemplar la arraigada presencia italiana y de su comunidad. A lo largo de su vida, este recinto ha dado cabida a diversos actos sociales y culturales que han sido verdaderas celebraciones de distintas identidades regionales. En este lugar, diferentes comunidades se reunían para compartir momentos, platos típicos regionales y participar en diálogos en dialectos locales y bailes tradicionales.

Es importante destacar que el patrimonio cultural del Club trasciende la esfera propia de los asociados y se constituye en un factor de reconocimiento e identidad de la comunidad italiana en Rosario. Si bien durante años el Club gozó de un reconocido prestigio, administraciones inescrupulosas llevaron al Club a un estado de abandono tal que el Municipio en el 2019 se vio obligado a cerrarlo definitivamente, realizando incluso obras de sostenimiento y vallado en la fachada histórica. Sin embargo, desde la propia Institución surgió una nueva administración con la voluntad de defender el Club. Se inicia así, dirigido por el Sr. Marcelo Castello, una etapa marcada por la decisión de promover acciones de conservación y recuperación del Club Italiano. Las condiciones medioambientales y la falta de una política integral de manejo del edificio generaron problemas de desajustes funcionales y severas patologías constructivas, estructurales y de instalaciones.

El inmueble no había tenido mantenimiento y el estado de conservación general de la edificación

era preocupante por lo que se decidió la firma de un convenio de colaboración entre la Asociación Civil Club Italiano y la Universidad Nacional de Rosario. En el marco de dicho convenio se generó un informe acerca del estado de conservación de la Sede Centro que devino en la formulación de un Programa de Rescate, Rehabilitación y Conservación del patrimonio del Club Italiano.

## DEL ESTUDIO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN. CLUB ITALIANO DE ROSARIO

El edificio donde se localiza la sede social del Club Italiano es una construcción centenaria (sección 1, manzana 209, gráfico 7, subparcela 1 y 2) y fue catalogado como tramo de planta baja hasta 1930. Se le otorgó en el inventario (Ordenanza 8245/2008) un nivel de protección 2c. Protección directa sobre el inmueble. En este encuadre normativo y de acuerdo con el primer relevamiento realizado in situ se propusieron una serie de actuaciones que contemplaban medidas preventivas para evitar incrementar el deterioro existente. En septiembre de 2020 se presentó el Programa Marco definido por un sistema de proyectos que abordaban las problemáticas específicas de los diversos patrimonios en riesgo: el edificio, el mueble y el bibliográfico y documental. La gestión de conservación sobre el inmueble se estructuró de manera de establecer una primera etapa que podemos denominar de resguardo y consolidación y una segunda de rehabilitación, conservación y reformulación que permitiera adecuar el edificio a las necesidades actuales de la Institución. Los lineamientos generales del Programa se sustentaron en principios internacionales de intervención sobre el patrimonio cultural tales como: autenticidad, intervención mínima y reversibilidad en las acciones.

Del análisis realizado se reconocieron distintos grados de deterioro en los componentes y en los casos que se enuncian a continuación se requirieron acciones concretas previas a abordar una intervención integral de rehabilitación. Por ejemplo la fachada principal, el mayor deterioro se localizaba en la parte superior del plano de fachada que determinó desprendimientos de material del voladizo en bovedilla sobre la vía pública. En el interior se podían apreciar los distintos estados de conservación de la cubierta en el sector salón principal, donde se

ubicaban las mesas de billar. Ante el estado de abandono sufrido, las cubiertas de bovedillas fueron afectadas por la humedad filtrada por el deterioro de la capa de impermeabilización, así como por los desagües obstruidos y colapsaron, desmoronándose debido a que los perfiles que sostenían se vieron absolutamente corroídos. En otros sectores en los que ha caído, a causa del paso de agua desde la cubierta, gran parte del cielorraso como es el caso de la biblioteca. Sectores de espacios interiores menos deteriorados como los que rodean al lucernario (Vitreaux) de la sala de ingreso al club y los salones ubicados en el área norte de la edificación en donde no se observa el deterioro propio del paso del agua desde la cubierta; lo mismo lucernario requiere de una limpieza y exploración de su estado de conservación para su puesta en valor, evaluando la posibilidad de incorporar refuerzos metálicos de ser necesarios para estabilizar la estructura (Fig. 1). Al final El salón de actos y el sector linderos a este –con estructura metálica y cubierta de chapa– presentaban un estado regular de conservación.

## METODOLOGÍA DE RELEVAMIENTO TRIDIMENSIONAL Y RESULTADOS

El objetivo de este trabajo es verificar cómo un levantamiento spedito con enfoque SLAM puede apoyar el proceso de documentación paramétrica del patrimonio existente, ofreciendo ejemplos de resultados obtenibles tras un proceso de Scan-to-BIM.

Para garantizar que los diferentes caminos se fusionen en una única nube de puntos que describe el edificio, es importante que los diferentes parches tengan una buena superposición entre ellos y no cierren la trayectoria con curvas cerradas, sino tratando de generar los caminos más suaves posibles. Incluso en el caso de edificios de varias plantas es importante que el elemento de conexión no sea sólo la escalera, sino alargar el camino para que el parche cubra también parte del piso n+1 que se detectará posteriormente, y así sucesivamente (Fig. 2).

Es fundamental para la optimización del proceso que el punto de partida de un único sea también el punto de cierre, para tener ciertamente datos redundantes y optimizar la trayectoria con la nube de puntos. Para el club rosario se han planificado cuatro rutas distintas con diferentes puntos de inicio y fin. Un primer recorrido que partía desde el exterior desde el frente de la calle y cubría internamente el

atrio principal y las salas laterales (en amarillo), un segundo en verde solo internamente que siempre pasa por el atrio principal hasta la sala del teatro, un segundo recorrido interno en azul que se superpone nuevamente con el atrio principal y cubre tanto las salas de teatro como de gimnasio y finalmente un camino en el techo que conecta desde la planta baja no solo con la escalera sino también desde las salas de teatro y gimnasio nuevamente. Cada ruta tiene una duración aproximada de 6-8 minutos. Posteriormente, los caminos se procesaron y cargaron en el software propietario Faro Connect para la fase de alineación utilizando el enfoque manual en la nube y el algoritmo iterativo tipo ICP Punto más cercano iterativo.

Dada la ausencia de información cromática asociada a la nube de puntos SLAM, se utilizó fotogrametría de corto alcance para documentar los fenómenos de degradación localizados en la fachada y en algunos ambientes internos (como por ejemplo para la fachada principal y el pasillo central con sobre el Vitreux, Fig. 3).

Esta es una vista del software Faro Connect que muestra la fusión entre las nubes la nube que parte del frente de la carretera se recuerda en amarillo, la nube del techo en fucsia. Se puede observar en esta vista que parte de la cubierta no fue detectada debido a la imposibilidad de acceder a la parte más alta, es decir, la cubierta de las salas del teatro y del gimnasio. De la nube de puntos utilizando el software suministrado con Faro Connect, Geoslam Draw, se extrajeron algunos de los documentos métricos, incluidos algunos planos a diferentes altitudes 1.20 2.40 y vistos desde arriba. Todos los documentos son de tipo rasterizado (Fig. 4-7).

Toda esta información se fusionó en un modelo arquitectónico, caracterizando todos los objetos paramétricos con contenido de información esencial para apoyar el diseño de intervenciones para mitigar los efectos del deterioro. De esta forma, se preparó una primera base de datos para compartir con las autoridades locales, susceptible de actualizaciones y capaz de representar un ejemplo de buenas prácticas para extender a otros estudios de caso representativos (Fig. 8).

## REFLEXIONES Y CONCLUSIONES

La creciente demanda de modelos paramétricos para documentar las transformaciones del patrimonio arquitectónico está ofreciendo una fuerza impulsora hacia la optimización de los procesos de levantamiento digital, el primer paso para desarrollar soluciones eficientes de Scan-to-BIM. Con vistas a reducir los costes y, sobre todo, los esfuerzos necesarios para transformar los datos brutos en un modelo acabado basado en la realidad, el enfoque SLAM representó un punto de inflexión, permitiéndonos pensar en nuevas declinaciones de la encuesta integrada. El caso de estudio del Club Italiano de Rosario ofreció la posibilidad de comprobar ese potencial en el campo. Los productos topográficos digitales no sólo apoyaron las posteriores operaciones de modelado paramétrico, sino que también permitieron obtener gráficos bidimensionales clásicos, como planos y secciones, de forma rápida y con alta precisión.

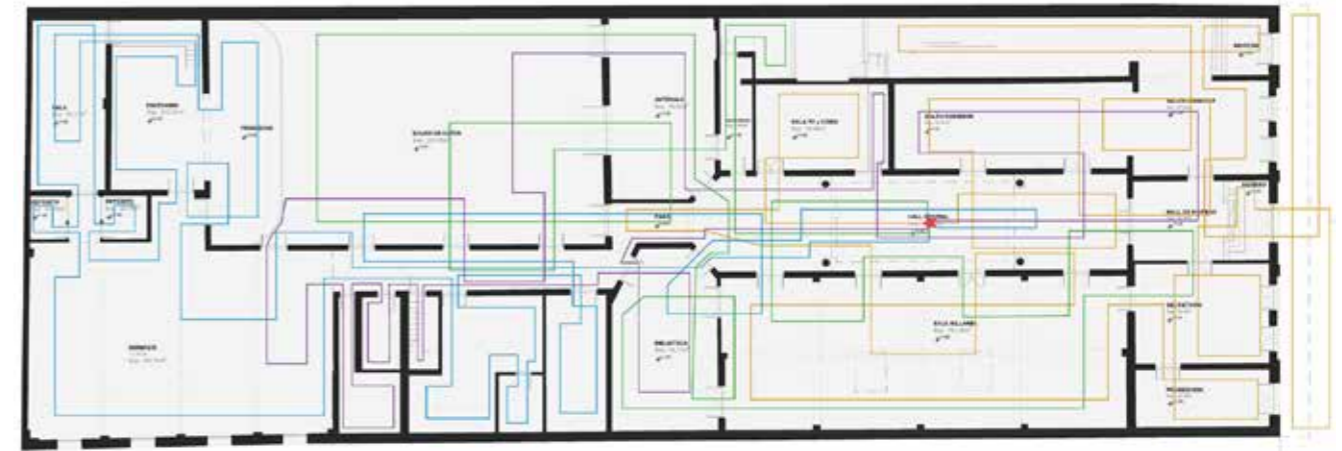


Fig. 2 - Proyecto de estudio e identificación de rutas SLAM.



Fig. 3 - Ortofoto longitudinal de la nave central que muestra algunos fenómenos de degradación.



Fig. 4 - Planos de elevación (de izquierda a derecha 1.20 m, 2.40 m y vista desde arriba).



Fig. 1 - De izquierda a derecha: obras de renovación de la fachada, hundimiento del forjado en la sala de billar y claraboya en el pasillo principal.



AA'



B-B'

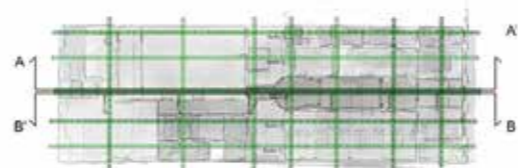
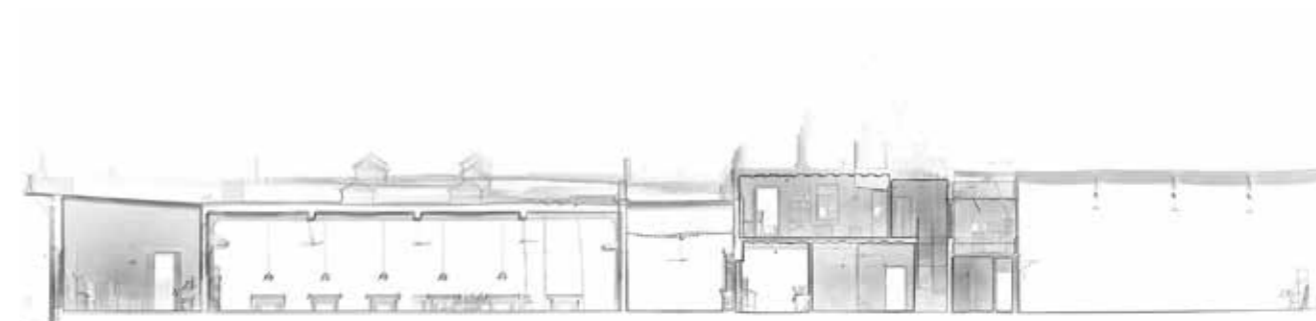
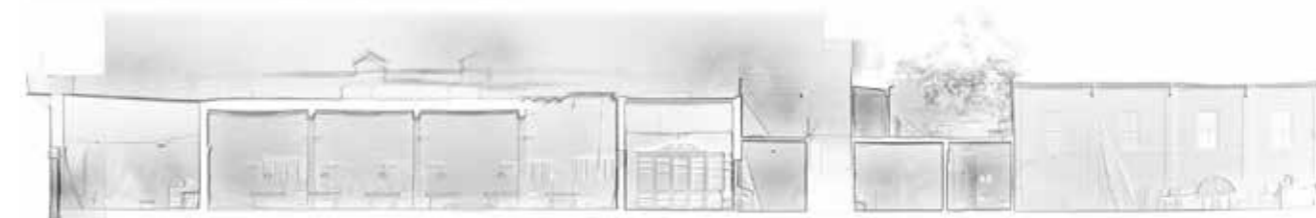


Fig. 5 - Secciones longitudinales a lo largo del corredor principal.



E-E'



F-F'

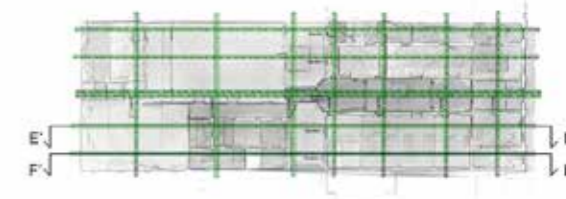
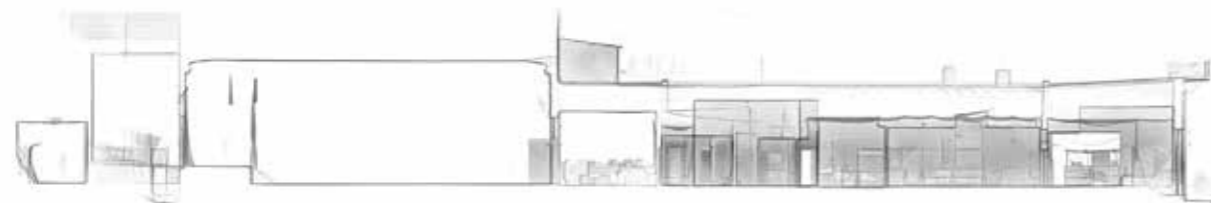
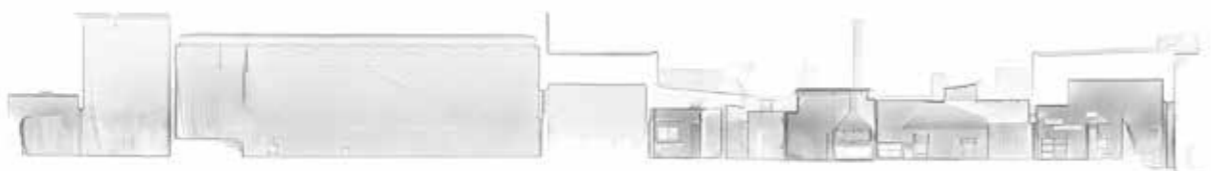


Fig. 7 - Secciones longitudinales a lo largo de la sala de billar y la biblioteca.



C-C'



D-D'

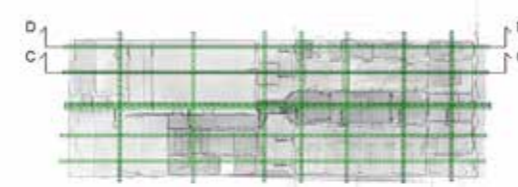


Fig. 6 - Secciones longitudinales a lo largo del comedor y el salón de actos.



Fig. 8 - Vista en perspectiva de la nube SLAM en el mapa de reflectancia y vista renderizada desde el modelo.

## BIBLIOGRAFIA

Angelini A., et al. (2023). Three-Dimensional Modeling and Non-Invasive Diagnosis of a Huge and Complex Heritage Building: The Patriarchal Basilica of Santa Maria Assunta in Aquileia (Udine, Italy). In *Remote Sensing*, n. 15(9).

Costantino D., et al. (2022). Experiences of TLS, terrestrial and UAV photogrammetry in Cultural Heritage environment for restoration and maintenance purposes of Royal Racconigi castle, Italy. In *2022 IMEKO TC-4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, MetroArchaeo 2022*.

Emler T., Caldarone A., Rossi M.L. (2021). "BIM Survey". Critical Reflections on the Built Heritage's Survey. In *Springer Tracts in Civil Engineering*, pp. 109-122.

Fascia R., et al. (2024). From 3d survey to digital reality of a complex architecture: A digital workflow for cultural heritage promotion. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*.

Filippo A., et al. (2018). Use of a Wearable Mobile Laser System in Seamless Indoor 3D Mapping of a Complex Historical Site. In *Remote Sensing*, n. 10(12).

Mandelli A., et al. (2017). Testing different survey techniques to model architectonic narrow spaces. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*.

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. The Lonja de Zaragoza. In *DISÉGNO*, pp. 707-726.

Morena S., et al. (2021). Architectural survey techniques for degradation diagnostics. an application for the cultural heritage. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*.

Parrinello S., Sanseverino A., Fu H. (2023). HBIM modelling for the architectural valorisation via a maintenance digital eco-system. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*.

Spanò A., et al. (2023). Digital Twinning for 20th Century Concrete Heritage: HBIM Cognitive Model for Torino Esposizioni Halls. In *Sensors*, n. 23(10).

Wang C., et al. (2024). Towards building information modelling based on FPP-SLAM. In *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*.

# FOTOGRAMETRÍA Y MODELADO 3D DE FAROLA EN LA PLAZA REMODELADA POR SALAMONE EN TORNQUIST

## PHOTOGRAMMETRY AND 3D MODELING OF THE STREET LAMP IN THE SQUARE REDESIGNED BY SALAMONE IN TORNQUIST

### AUTHOR

Laura Lopresti<sup>1</sup>, Sergio Gavino<sup>1</sup>, Lucas Speroni<sup>1</sup>, Laura Fuertes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica, UIDET- Grupo de Ingeniería Gráfica Aplicada

### EMAIL

[laura.lopresti@ing.unlp.edu.ar](mailto:laura.lopresti@ing.unlp.edu.ar);  
[sergio.gavino@ing.unlp.edu.ar](mailto:sergio.gavino@ing.unlp.edu.ar);  
[lucas.speroni@ing.unlp.edu.ar](mailto:lucas.speroni@ing.unlp.edu.ar);  
[lfuertes@ing.unlp.edu.ar](mailto:lfuertes@ing.unlp.edu.ar)

## KEYWORDS

FOTOGRAMETRÍA  
MODELO 3D  
PATRIMONIO  
LUMINARIA  
SALAMONE

## ABSTRACT

Este trabajo relata el relevamiento con la técnica de fotogrametría y posterior modelado 3D de una columna de alumbrado ubicada en la plaza principal y frente al edificio municipal de la ciudad de Tornquist, Buenos Aires. Ambas obras del Arquitecto-Ingeniero Civil Italo-argentino Francisco Salamone. Se ha utilizado la cámara fotográfica de un smartphone. Se evalúa la pertinencia de esta técnica de relevamiento en obras de esta naturaleza y su posterior utilización para el estudio y su difusión.

*This work describes the survey using photogrammetry and subsequent 3D modeling of a streetlight column located in the main square, in front of the municipal building in the city of Tornquist, Buenos Aires. Both works were designed by the Italian-Argentine Architect-Civil Engineer Francisco Salamone. A smartphone camera was used. The relevance of this surveying technique for projects of this nature and its subsequent use for study and dissemination is evaluated.*

## INTRODUCCIÓN

Francisco Salamone, nacido en 1897 en Leonforte, Sicilia, emigra a Argentina en los primeros años de su vida. Estudia en la Universidad de Córdoba donde se recibe de arquitecto-ingeniero civil y donde desarrollará sus primeras obras. Entre 1936 y 1940, se destacan sus proyectos realizados en la Provincia de Buenos Aires (Fig. 1), edificios en hormigón armado ubicados en diferentes localidades y categorizados de la siguiente forma: municipalidades, cementerios y mataderos, proyectando también las plazas principales, emplazadas frente a las primeras. Su estilo, basado en el art déco y el racionalismo se manifiesta de manera notable en cada una de sus obras, desde una marcada geometría hasta el uso de materiales contemporáneos de la época.

En palabras expresadas por el Arquitecto Longoni, gran estudioso de la obra de este autor, en el prólogo del libro *Las rutas de Salamone* [Di Paolo et al., 2023] "Hoy en día existen sobre su obra y su persona una profusión de publicaciones, tanto académicas como masivas, sitios en la red, exposiciones fotográficas y producciones audiovisuales.

La obra del ingeniero lleva por lo menos tres décadas de reconocimientos y, hoy en día, una ley provincial (12854/02) y un decreto nacional (1138/14) reconocen y protegen su valor patrimonial. En 2013, la provincia creó los Centros de Interpretación Salamone en Laprida, Azul y Saldungaray y, en 2022, se inició un programa nacional de restauración y puesta en valor de sus obras arquitectónicas, tanto en la provincia de Buenos Aires como en la de Córdoba."

En este caso, el objeto de estudio es una farola o luminaria ubicada en la plaza Ernesto Tornquist de la ciudad homónima en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (Fig. 2). Aún hoy se está debatiendo si el arquitecto fue el autor de esta obra o no<sup>1</sup>. Se trata de una columna coronada por una tulipa, donde se encuentra la luz y forma parte de un conjunto de 19 farolas que fueron colocadas a partir de la reforma realizada por Salamone entre los años 1937 y 1938, en la plaza que se encuentra frente a otra obra de este autor, el palacio municipal. La geometría está compuesta por una base, fuste, remate y luminaria y está determinada por una organización vertical de volúmenes de sección hexagonal de tamaño variable, generando así un eje vertical de poco más de 4 metros. En cuanto al material y procedimiento constructivo la farola estaría constituida, según estudios realiza-

dos en casos similares de mobiliario urbano empleado en dichos proyectos de plazas [Traversa et al., 2003; López et al., 2007; Traversa et al., 2017], por estructuras premoldeadas de tres capas de hormigón de 40 mm de espesor en su totalidad.

El propósito de este trabajo apunta a relevar de manera digital a través de la fotogrametría, con una cámara fotográfica de un smartphone, un componente del mobiliario empleado durante la reforma citada, para lograr una réplica 3D que permita corroborar la pertinencia de esta técnica de relevamiento en obras de esta naturaleza y su posterior utilización para la difusión y el estudio de las morfologías y dimensiones presentes en los trabajos del arquitecto; para lo cual el modelo 3D como el modelo de malla estarán disponibles en el repositorio de la UNLP<sup>2</sup> que a la brevedad estará habilitado.

Esta línea de investigación forma parte del proyecto de investigación actualmente llevado a cabo por la UIDET denominado 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. (PID-UNLP 11/I274).

## MARCO TEÓRICO

La fotogrametría ha encontrado en los algoritmos de Structure from Motion, ligado a la visión artificial, una solución que reduce significativamente el tiempo y los costos involucrados en un relevamiento patrimonial [Karmacharya, 2021].

En la superposición de imágenes altamente redundante se busca comprender el movimiento relativo de la cámara, es decir, sus posiciones y orientaciones, facilitando la autocalibración de cámaras no métricas y la ubicación precisa de características puntuales, como vértices. Esto ha permitido explorar la viabilidad de la fotogrametría basada en smar-

<sup>1</sup> Sobre este tema se puede recurrir a la nota escrita por Marcelo Metayer, de la Agencia DIB <https://www.diarioeltiempo.com.ar/nota-luis-costantini-el-enigma-detras-de-muchas-obras-de-francisco-salamone-174293>. En ella se mencionan argumentos expresados por estudiosos de la obra de Salamone. En lo que concierne a los autores de este trabajo, tal línea de investigación no la están desarrollando por el momento, pero se tomó la decisión de dejar consignada esta situación.

<sup>2</sup> El repositorio es un proyecto de la Universidad Nacional de La Plata que se está implementando progresivamente en las distintas unidades académicas. La Facultad de Ingeniería aún no tiene un repositorio creado. <https://datos.unlp.edu.ar/>



Fig. 1 - Francisco Salamone (fotografía de uso público) y algunas de sus obras. Fotografías de los autores.



Fig. 2 - Luminaria de la plaza Ernesto Tornquist. Fotografías de los autores.



tphones como alternativa económica y práctica para la documentación arquitectónica y la fotogrametría de emergencia [Asadpour, 2021].

Se plantea entonces una discusión sobre la precisión y limitaciones de la fotogrametría basada en smartphones en comparación con otros métodos más costosos y especializados. Como se demuestra en Jasinska [2023] esta precisión aún no iguala los resultados obtenidos mediante técnicas de relevamiento con equipos como escáneres láser, pero permite la generación de modelos digitales adecuados para su visualización a un costo menor.

Si bien se puede arribar a modelos más precisos en el orden de +/- 0.5 mm con un método de captura de fotografías más riguroso y un procedimiento de calibración de la cámara diseñado ad hoc [Kanun, 2022], la red de imágenes que se capturan durante el relevamiento debe ser densa y no siempre es posible realizarlo. Según Nocerino [2014], esta geometría de red de imágenes genera un modelo fotogramétrico de mayor precisión cuando se utilizan fotografías convergentes en lugar de fotografías en franjas paralelas. Sin embargo, según Asadpour [2021], ambos métodos son igualmente válidos si el objetivo principal es la precisión visual en lugar de la precisión dimensional del modelo digital.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se ha realizado con la cámara del Smartphone Redmi 7 de 12 Mp. La resolución de las fotografías es de 3000 x 4000 px. y no se ha utilizado flash en las capturas. De esta manera se han obtenido poco más de 80 fotografías realizando la captura considerando un eje convergente girando alrededor de la luminaria y con una separación entre cada una de 4° aproximadamente (Fig. 3).

Luego fueron filtradas en el laboratorio para el procesamiento fotogramétrico considerando aspectos como zona de luz y de sombra, oclusión de objetos y encuadre. Se ha efectuado el procesamiento fotogramétrico de 71 fotografías, con software Agisoft Metashape®.

El modelo de nube de puntos densa generado es de 370.000 puntos. En las distintas imágenes de la figura 3 se pueden observar tres de la totalidad de fotografías capturadas, la distribución espacial de anillo utilizada y el modelo fotogramétrico sin limpieza. El procesamiento fotogramétrico se ha realizado con las variables que se muestran en la tabla

1 donde se indica además los tiempos involucrados en las tres instancias: generación de nube dispersa/densa, malla y texturización.

Como se observa en la Tabla 1, y para mejorar los resultados del procesamiento, se han incluido 30 marcadores en diferentes vértices de los hexágonos y en características superficiales como manchas. Este procedimiento ha sumado 30 minutos más al tiempo de trabajo mencionado. En la figura 4 se puede observar los modelos fotogramétricos de puntos y luego de la triangulación.

Luego de realizada la importación del modelo de malla fotogramétrico al software de modelado 3D Autodesk Inventor®, se plantean diversos planos rectos para cortar el modelo transversalmente y conocer las proporciones de cada uno de los hexágonos y un plano longitudinal para determinar los ángulos de variación de esos hexágonos. Con esta información se generan los diferentes volúmenes utilizando extrusión con ángulo (Fig. 5).

Posteriormente se ha realizado el ajuste con la sección superior en cada volumen individual. Por último, se realiza una comparación de objetos digitales para revisar la fiabilidad y precisión del procedimiento en ambiente Geomagic Studio®. Así se obtiene un modelo de extensión OBJ (Object) compuesto por tres archivos, el OBJ propiamente dicho, es decir la geometría del objeto, el archivo de extensión MTL (Material Template Library) donde se le asigna la textura y un archivo JPG que contiene la textura propiamente dicha. Para mejorar algunas zonas afectadas por manchas de envejecimiento y grietas se decide intervenir con Gimp 2, una herramienta de edición de imágenes de código abierto, sobre el archivo JPG.

En la Fig. 6 se puede observar en la parte izquierda parte de la luminaria sin intervención en su textura y con la intervención indicada.

Tanto el modelo fotogramétrico como el modelo obtenido por el procedimiento anteriormente mencionado se han impreso en 3D con filamento PLA en escala 1:20 (Fig. 7).

La escala fue determinada por las dimensiones de la columna que están publicadas en la ficha técnica que se encuentra en el libro Francisco Salamone en la provincia de Buenos Aires: reconocimiento patrimonial de sus obras. [Novacovsky, 2001].

En el presente trabajo no se ha realizado un análisis específico de la precisión dimensional en el proceso de levantamiento fotogramétrico y posterior impresión 3D.

<b>Recursos</b>	Cámara del Smartphone Xiaomi Redmi 7 de 12 Mp. Computadora I5 - 8GB RAM Agisoft Metashape®		
<b>Fotografías</b>	80/71	<b>Marcadores</b>	30
<b>Tiempo orientación/nube dispersa</b>	Tiempo ≈ 33 min		
<b>Nube de puntos densa</b> <i>Quality: High</i> <i>Depth filtering: Mild</i>	≈ 370.000 Tiempo ≈ 50 min		
<b>Malla</b> <i>Surface type: arbitrary</i> <i>Face count: High</i> <i>Interpolation: Enable</i>	36.000 caras Tiempo ≈ 15 sec		
<b>Texture</b> <i>Type: Diffuse map</i> <b>Modo de mapeado: Genérico</b> <i>Enable hole filling</i> <i>Enable ghosting filter</i>	Tiempo: 1 min 13 seg		
<b>Tamaño de textura</b>	4,096 x 4,096		

Tabla 1

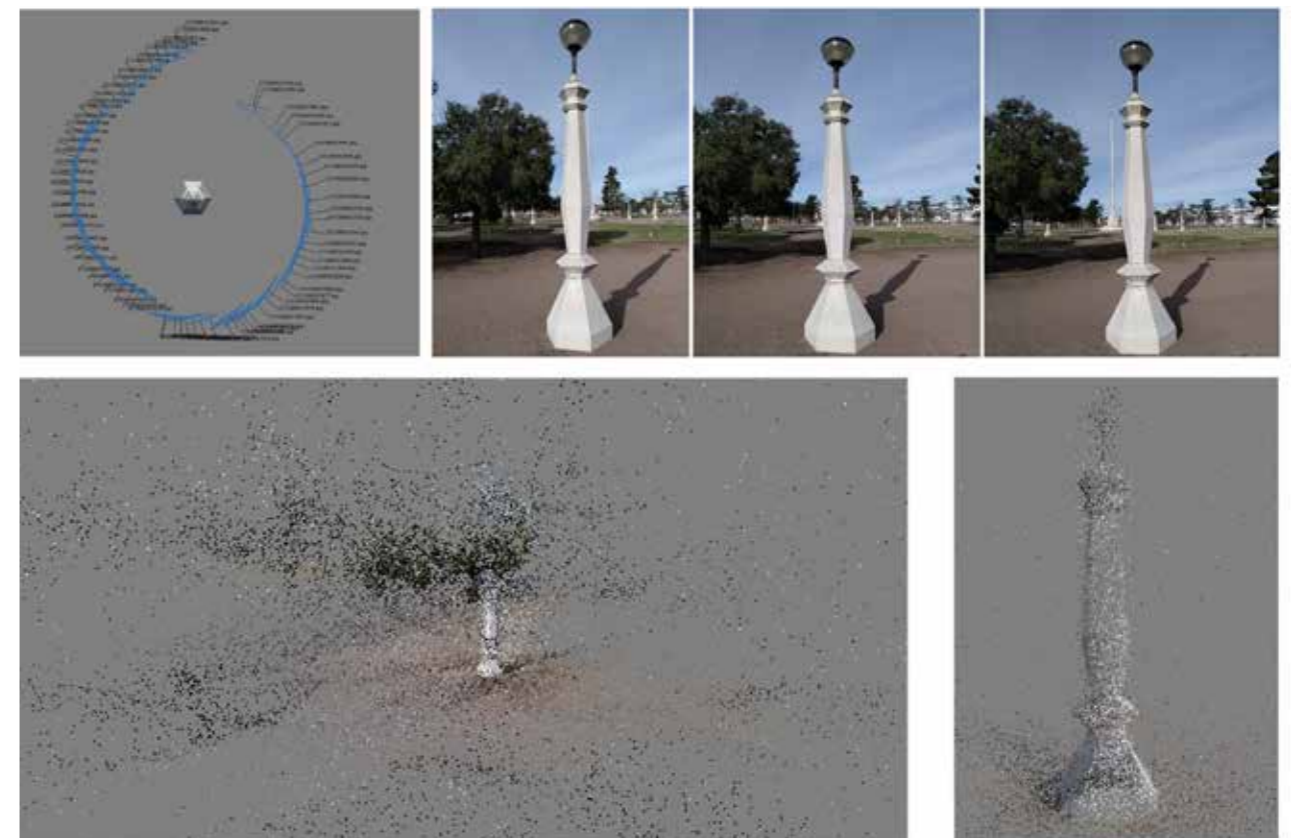


Fig. 3 - Capturas de fotografías y procesamiento fotogramétrico. Fotografías e imágenes de los autores.

## RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

El modelo fotogramétrico obtenido, por esta técnica de bajo costo, presenta buena definición de su forma en toda su altura excepto en la parte superior. Esto se debe a la dificultad de la captura de fotografías en un anillo más elevado por las dimensiones de la luminaria que hubiera requerido otro procedimiento de captura. Los marcadores digitales utilizados durante el proceso han influido positivamente en el resultado arrojando una malla mucho más ajustada en el extremo superior de la farola. En las primeras pruebas realizadas, sin estos marcadores, los resultados arrojaron una malla con mucho ruido y suciedad. Esto indica que, aun con factores adversos que afecten la toma fotográfica, se puede relevar estas obras ya que la presencia de aristas marcadas y vértices en todos los trabajos de este autor contribuyen enormemente al reconocimiento digital de la forma.

Cabe mencionar que el color blanco con el que se ha pintado la farola permite obtener mejores resultados en condiciones de sombra en comparación con aquellas fotografías donde el sol impacta directamente.

El procedimiento de modelado 3D cumple con el propósito de determinar las proporciones presentes en el desarrollo formal de la luminaria.

Estas proporciones pueden ser estudiadas en otras luminarias para encontrar patrones de diseño y de esa manera, y a través del análisis de los diferentes ornamentos de una plaza, conocer más en profundidad la intención del arquitecto. Además, este modelo fotogramétrico se suma a un conjunto de acciones de diferentes personas y grupos de trabajo que buscan digitalizar las obras patrimoniales del Arq. Ing. Francisco Salamone<sup>3</sup>.

En cuanto a la textura del modelo tridimensional, se decide conservar la textura original obtenida de las fotografías capturadas. Esta decisión permite compartir un archivo digital con un mayor nivel de fidelidad preservando así las imperfecciones inherentes al paso del tiempo.

Respecto de los modelos impresos en 3D, ambos caminos son aptos para obtener un modelo 3D real. Si bien el modelo impreso obtenido del modelo fotogramétrico tiene mayor rugosidad esto no impide entender la volumetría completa en la escala seleccionada.

Se espera en próximas acciones relevar el conjunto completo de las farolas de las diferentes plazas diseñadas por este autor y de esa manera disponer digitalmente, y crear réplicas impresas 3D, para su preservación y difusión.

Finalmente, las técnicas de fotogrametría tradicionales, que utilizan cámaras especializadas y software propietarios, ofrecen alta precisión y son ideales para proyectos de gran escala, pero requieren equipamiento costoso y conocimientos técnicos. Las innovaciones recientes, impulsadas por drones, teléfonos móviles y algoritmos de visión e inteligencia artificial, han democratizado su uso al hacerlas más accesibles y escalables, aunque en ciertos casos la precisión de las técnicas tradicionales sigue siendo superior. Sin embargo, con la evolución de la IA y el procesamiento automático de imágenes, se espera una reducción significativa en los costos, haciendo que la fotogrametría sea más asequible y eficiente para un mayor número de usuarios e industrias.

<sup>3</sup> Cegarra Briante (<https://www.cgtrader.com/products/francisco-salamone-public-building>) Guridi (<https://skfb.ly/ovLX7>) Meiller y Rebek (<https://mataderomodelo.com>)

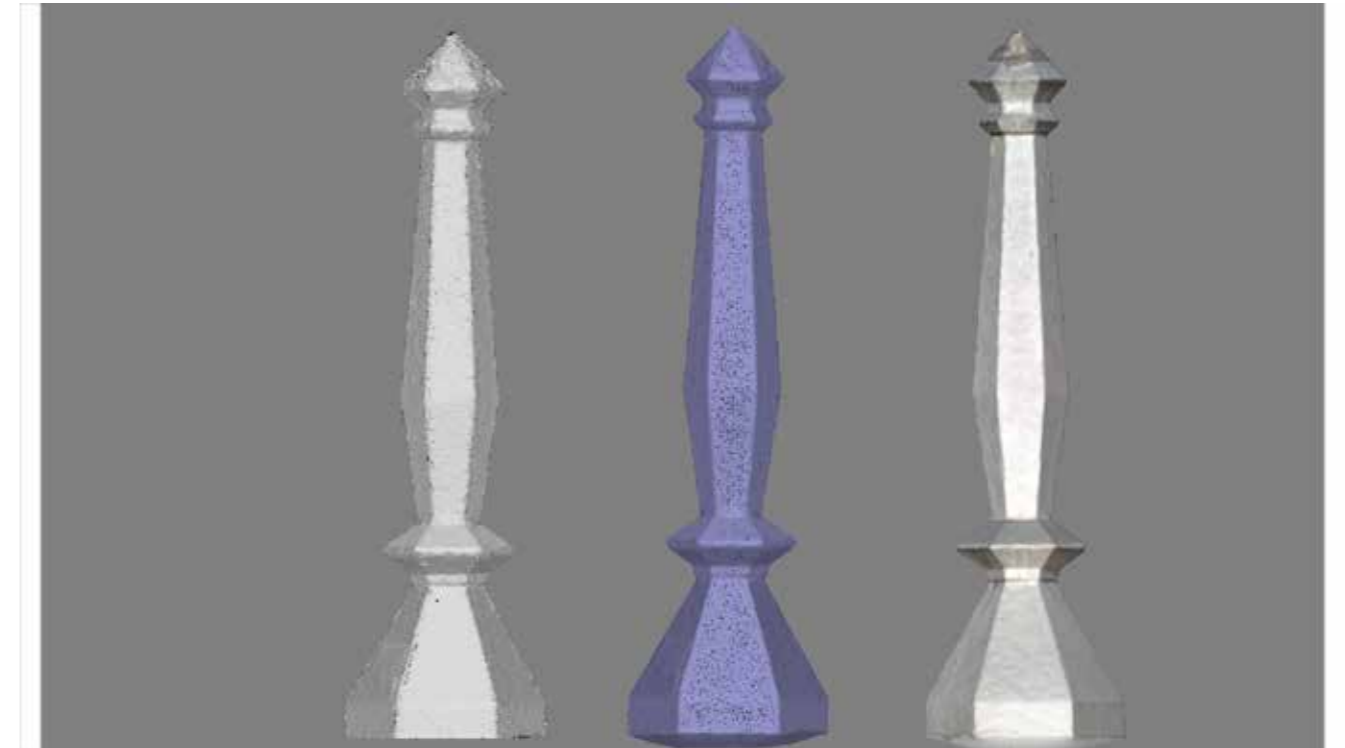


Fig. 4 - Modelo fotogramétrico de puntos y malla.

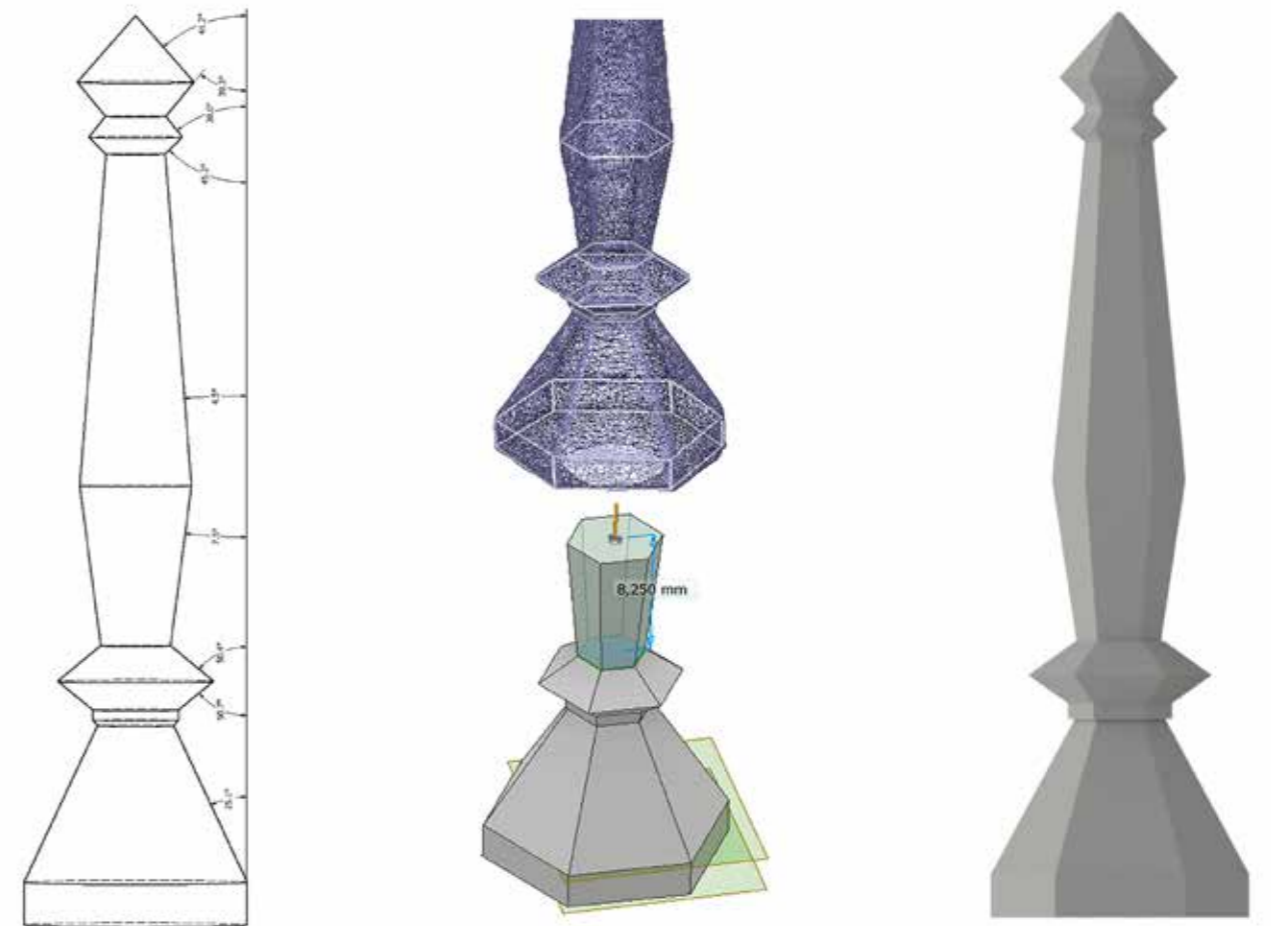


Fig. 5 - Modelado 3D.



Fig. 6 - Detalle de las zonas con y sin intervención en su textura. Imagen de los autores.



Fig. 7 - Modelos realizados con impresión 3D. Imágenes de los autores

## BIBLIOGRAFÍA

Asadpour, A. (2021). Documenting historic tileworks using smartphone-based photogrammetry. In *Mersin Photogrammetry Journal*, 3 (1). Pp. 15-20. Turquía: Mersin Photogrammetry Journal.

Di Paolo, F.; Russo Bautista, S.; Gómez Monzón, A.; Ratto, P. (2023). *Las rutas de Salamone. Colección: Territorios e identidades*. Pp. 15-16. La Plata: Ediciones Bonaerenses.

Jasinska, A.; Pyka, K.; Pastucha, E.; Midtiby, H.S. (2023). A Simple Way to Reduce 3D Model Deformation in Smartphone Photogrammetry. *Sensors* 2023, 23, 728. In *3D Sensing, Semantic Reconstruction and Modelling*. Academic Editor: Lei Huang.

Kanun, E., Kanun, G. M., & Yakar, M. (2022). 3D modeling of car parts by photogrammetric methods: Example of brake discs. In *Mersin Photogrammetry Journal*, 4 (1). Pp. 7-13. Turquía: Mersin Photogrammetry Journal.

Karmacharya, S. K.; Ruther, N.; Shrestha, U.; Bishwakarma, M. B. (2021). Evaluating the structure from motion technique for measurement of bed morphology in physical model studies. In *Water* 2021, 13, 998. *Advances and Challenges in Hydropower*. Academic Editor: Jochen Aberle.

López, A.; Iloro, F. H.; Russo, H. (2007). *Reproducción de mobiliario urbano estilo Art Deco en Revista Ciencia y Tecnología del Hormigón N° 14*. Pp. 63-69. La Plata: Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT).

Nocerino, E.; Menna, F.; Remondino, F. (2014). Accuracy of typical photogrammetric networks in cultural heritage 3D modeling projects. In *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volume XL-5, 2014 ISPRS Technical Commission V Symposium. Riva del Garda, Italy, 23 - 25 June 2014, pp. Italia: Copernicus Publications.

Novacovsky, A.; Paris Benito, F.; Roma, S. (2001). *Francisco Salamone en la provincia de Buenos Aires: reconocimiento patrimonial de sus obras*. Tandil: Grafikart.

Traversa, L.; Di Maio, A.; Longoni, R. (2003). Puesta en valor de algunas construcciones del Ing. Salamone. Técnicas empleadas y resultados alcanzados. *Il Jornada de Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio*. La Plata, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

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.

## AGRADECIMIENTOS

A la Arq. Marta García Falcó y a la Prof. Ana Ramos de la Asociación Civil Centro Cultural Salamone de Balcarce. A Mariano Spialtini del Museo Casa de la Historia de Tornquist. Al estudiante de Ingeniería Mecánica Valentín Rondán.

# ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA BIM APLICABLE A LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

## BIM TEACHING STRATEGY APPLICABLE TO THE CIVIL ENGINEERING DEGREE

AUTHOR

**Joel Oggero**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Venado Tuerto, Departamento de Ingeniería Civil- Laboratorio BIM

EMAIL

[joggero@frvt.utn.edu.ar](mailto:joggero@frvt.utn.edu.ar)

## KEYWORDS

BIM  
INGENIERÍA  
CAPACITACIONES  
LABORATORIO  
TRANSVERSALIDAD

## ABSTRACT

Uno de los desafíos al momento de incorporar capacitaciones BIM a la estructura académica que ofrecen las carreras de ingeniería yace en generar una propuesta educativa que preserve el espíritu transversal y colaborativo del concepto BIM, a su vez que logre incorporarse a los espacios curriculares vigentes.

Este trabajo pretende compartir los aspectos generales de la implementación BIM a la enseñanza de la ingeniería civil, mediante la aplicación de un laboratorio.

*One of the challenges when incorporating BIM training into the academic structure offered by engineering programs lies in creating an educational proposal that preserves the transversal and collaborative spirit of the BIM concept, while also being integrated into the existing curricular spaces.*

*This work aims to share the general aspects of BIM implementation in civil engineering education through the application of a laboratory.*

## INTRODUCCIÓN

Definir una estrategia de enseñanza BIM que garantice la integración de los conocimientos de manera transversal y progresiva supone un desafío que posee múltiples enfoques.

En líneas generales, la estructura de cátedras que poseen los planes de estudio de ingeniería civil vigentes consiste en particionar los conocimientos según sus temáticas específicas y niveles de complejidad, dividiendo y aislando los conceptos y las personas.

Aunque esta metodología ha resultado útil desde el punto de vista individual, es una estrategia de enseñanza que dificulta el trabajo colaborativo.

Para abordar dicha falencia, en la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto hemos implementado un laboratorio BIM como estrategia pedagógica integral. Este espacio provee capacitaciones a los alumnos de manera independiente al nivel de la carrera en que se encuentran y plantea desafíos que les permiten incorporar con éxito competencias BIM.

Implementar un laboratorio posee ventajas tanto académicas como administrativas. Diremos que:

- El laboratorio es un espacio de capacitación que brinda recursos para facilitar el trabajo dentro de cátedras específicas.
- Compone un entorno abierto donde alumnos de diversos niveles de la carrera pueden encontrarse para abordar el aprendizaje de una nueva metodología, integrando saberes y personas.
- Permite al alumno obtener de manera gratuita un certificado que avala sus competencias BIM, ofreciéndole una oportunidad más para insertarse en el mercado laboral antes de obtener su título de grado.
- En términos administrativos, permite una implementación inmediata, puesto que no se necesita crear un nuevo espacio curricular dentro del plan de estudios con el que la universidad acredita la carrera.
- Admite la posibilidad de becar alumnos dentro de proyectos de investigación, facilitando la formación de recursos humanos orientados a proyectos de I+D.
- Permite a la universidad ofrecer servicios a terceros, mediante los cuales se puede obtener un

retorno económico para afrontar inversiones relacionadas a la obtención de recursos tecnológicos y educativos.

Citadas las virtudes que ofrece la implementación de un laboratorio, se describe a continuación la estructura de capacitaciones que brinda este espacio en la institución previamente mencionada.

## ESTRUCTURA DE CAPACITACIONES

La primera fase de capacitación se compone de un seminario llamado "Modelado de proyectos BIM" que consta de dos módulos:

### Módulo 1: "Introducción al modelado BIM"

Participantes: alumnos que se encuentren entre el 3° y 6° año de la carrera.

Metodología: 14 clases presenciales de 1 hs reloj cada una. Los encuentros son semanales y se desarrollan fuera del horario de cursado habitual de la carrera.

El contenido que se imparte es teórico-práctico. Se aborda el aprendizaje de protocolos y criterios de modelado mediante la construcción de un modelo BIM de complejidad intermedia.

De este modelo se obtiene la información planimétrica y los cómputos de materiales, creando un legajo sencillo. También se genera el modelo IFC de la estructura resistente del proyecto, a fin de vincularlo con un software de análisis estructural que permita calcular las solicitaciones.

### Módulo 2: "Creación de un proyecto BIM"

Participantes: alumnos que hayan completado el Módulo 1.

Metodología: 14 clases semi-presenciales de 1 hs reloj cada una. Los encuentros son optativos semanalmente.

La actividad principal de este módulo radica en que cada alumno construya su modelo BIM propio. Este proyecto puede ser una obra diseñada por el alumno o el modelado de algún proyecto particular que le sea útil para resolver trabajos de otras cátedras.

Dado que pueden surgir dudas comunes a todos los participantes, se dispuso de un espacio de interacción en el sitio web del campus virtual de la universidad. Este entorno digital se utiliza para compartir y guardar todo el contenido educativo de referencia y generado durante las etapas de imple-

mentación. Allí coexisten simultáneamente los alumnos que participan de ambos módulos.

Para ser dado de alta, el participante deberá finalizar el cursado del módulo 1. Una vez completada dicha etapa, se generará una matrícula para acceder al campus.

El contenido del espacio virtual está diagramado de manera que todos los participantes puedan obtener información útil para llevar a cabo sus procesos, apostando al aprendizaje continuo y centrado en el alumno.

Allí se alojan videos tutoriales respondiendo a las consultas específicas que expresan los parti-

cipantes, bibliografía, links recomendados, diccionario de conceptos BIM, foro de consultas y el acceso a la nube BIM.

La ventaja de este sistema de aprendizaje es que, además de adquirir competencias como modeladores BIM, los alumnos comienzan a trabajar de manera colaborativa y bajo el concepto de trabajo en la nube. Esto es:

Una vez terminados y corregidos los modelos, los mismos son alojados en la nube BIM del campus virtual. De esta forma, todo alumno que haya realizado ambos módulos tiene acceso a descargar modelos BIM en cualquier momento de su carrera,

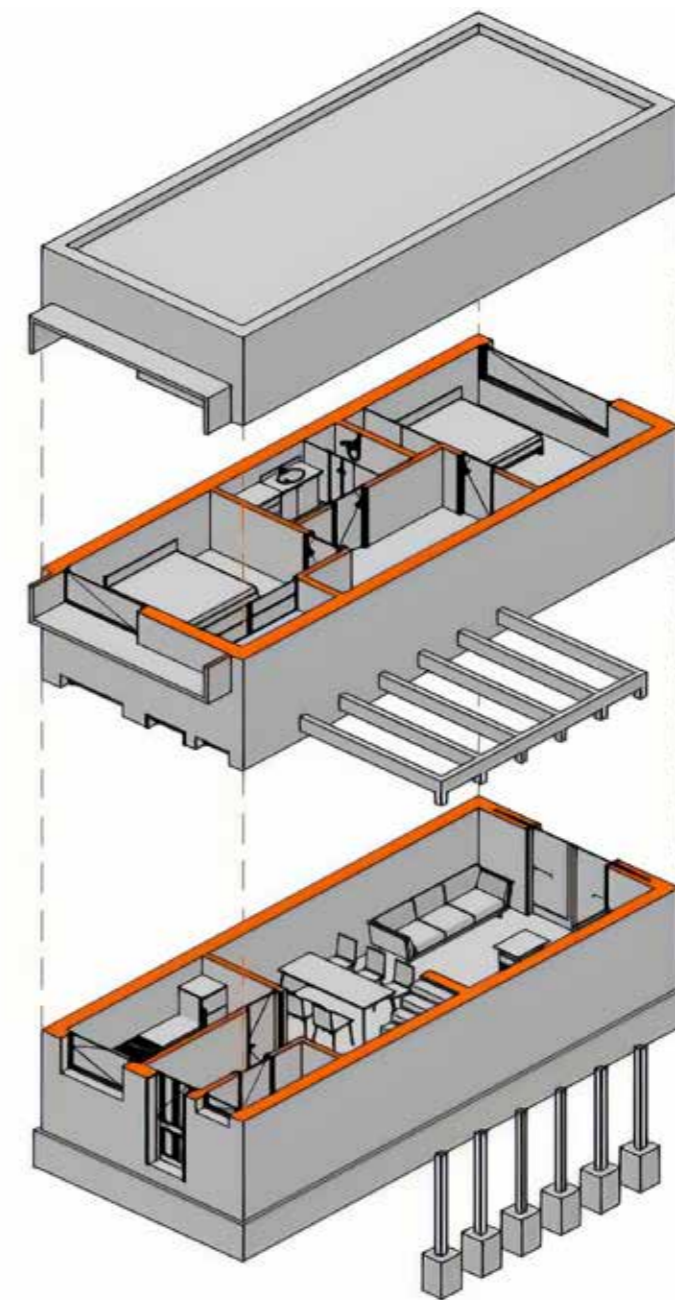


Fig. 1 - Módulo 1. Representación 3D del modelo propuesto para el año 2023.

contando con material que facilite su trabajo dentro de las cátedras afines.

Al compartir el modelo en la nube, se le otorga al alumno un certificado bajo la RESOLUCIÓN N° 059/20 – F.R.V.T del consejo directivo de la universidad.

La estrategia pedagógica explicitada apuesta a la generación de una nueva cultura de trabajo que refuerce los valores de comunidad y colaboración.

Una vez que el laboratorio generó cierta cantidad de alumnos certificados, se avanzó con una nueva etapa de formación.

La segunda fase de capacitación consiste en desarrollar un modelo en el cuál muchos participantes trabajen simultáneamente y en tiempo real.

Para abordar este nuevo desafío, el laboratorio impulsó el proyecto de investigación llamado "Modelado del edificio sede de la UTN Facultad Regional Venado Tuerto".

Considerando que la obra ya se encuentra ejecutada en su totalidad, el proyecto consiste en realizar el modelo BIM As Built del edificio sede de la universidad.

La obra comprende una extensión aproximada de 3.600 M2 y funciona como proyecto piloto para desarrollar capacidades de modelado mediante teamwork.

Para realizar el planteo incorporando a los espacios curriculares afines, se ha considerado estructurar el flujo de trabajo colaborativo siguiendo los lineamientos expuestos en las siguientes normas:

[IRAM-ISO 19.650-1: Organización y digitalización de la información en obras de arquitectura e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Parte 1- Conceptos y Principios), 2020].

[IRAM-ISO 19.650-2: Organización y digitalización de la información en obras de arquitectura e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Parte 2- Fase de desarrollo de los activos), 2022].

Los cuerpos normativos citados describen procesos de manera genérica para lograr estructurar la información digital en aquellas obras que utilizan la metodología BIM. Esta forma de trabajo puede ser adoptada tanto para la generación y gestión de información para una obra nueva, como así también, para digitalizar una obra existente y coordinar su documentación.

En este contexto, planteamos la creación de una situación de proyecto real, en donde cada actor co-

labora con los conocimientos que ha adquirido hasta el momento durante su formación académica. En términos normativos, se explicita la propuesta como sigue:

Suponemos que el comitente o Parte Contratante es la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto, quien llama a licitación a la comunidad educativa para realizar el modelo BIM de la casa de estudios. Motiva este pedido la necesidad de contar con un modelo BIM de la facultad que pueda brindar la información necesaria para obtener los planos conforme a obra, realizar análisis de rendimiento energético, generar un entorno permeable para pensar modificaciones o ampliaciones del edificio y disponer de un modelo útil para gerenciar estrategias que faciliten las tareas de planificación para el mantenimiento del activo.

Se estructuran diversas áreas del conocimiento compuestas por las cátedras y laboratorios que puedan colaborar. Para este desafío, la cátedra Organización y Conducción de Obras es la Contratista Principal, puesto que ejerce el rol de gestionar la información de proyecto en colaboración con el laboratorio BIM. Luego, cada agrupación de cátedras o laboratorios que aporten valor a la cadena son consideradas Subcontratistas.

En este planteo, el equipo formado por alumnos y docentes de la cátedra Organización y Conducción de Obras tiene su a cargo la creación de los pliegos de especificación de dicha obra. Esta documentación define la granularidad de la información necesaria en cada etapa y esta discriminada según las competencias de cada equipo considerado como subcontratista.

Una vez definidos los pliegos, también deben crearse los demás documentos que acompañen el proceso, a saber:

- Project de obra global y diagramas de Gantt por rubro o subcontratista.
- Contratos de trabajo entre la contratista principal y las subcontratistas.
- Formatos básicos de informes periódicos. La contratista principal solicitará a cada subcontratista que eleve informes mensuales de avance de obra.
- Se propone realizar reuniones periódicas de coordinación entre equipos, gerenciadas por la contratista principal y el laboratorio BIM.
- Minutas de reuniones para informar a la parte contratante el grado de avance del proyecto.

- Se proponen realizar reuniones parciales abiertas a toda la comunidad educativa, a fin de comunicar los resultados del proceso y las lecciones aprendidas.

Los roles hasta aquí detallados responden al esquema planteado en la Fig. 3 de la [IRAM-ISO 19.650-2] que se presenta a continuación:

En estos términos, consideramos qué:

Parte contratante: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto.

Contratista Principal: Organización y Conducción de Obras. Laboratorio BIM.

Subcontratistas: equipos de alumnos y docentes de las cátedras y laboratorios afines a cada etapa de generación de información.

Dado que la obra ya existe, las subcontratistas involucradas no deben crear información nueva, sino que tienen la tarea de relevar información existente. Esta información debe atravesar un proceso de auditoría y validación previo a formar parte del modelo BIM.

Dichas tareas están a cargo de los equipos que conforman las diversas Subcontratistas y que serían gerenciadas por parte de la Contratista Principal, quien cuida los intereses de la Parte Contratante.

Dado que cada rubro a relevar requiere de conocimientos específicos, pero también de la presencia de personas que colaboren en la realización de los relevamientos y adquieran nuevas competencias, se propone involucrar e integrar espacios curriculares de los diversos niveles; a saber:

**Segundo nivel:** Ingeniería Civil II

**Tercer nivel:** Tecnología de la construcción- Geotopografía- Instalaciones Eléctricas y Acústicas- Instalaciones Termomecánicas

**Cuarto nivel:** Instalaciones Sanitarias y de Gas- Diseño Arquitectónico, Planeamiento y Urbanismo

**Quinto nivel:** Cimentaciones- Organización y Conducción de Obras

Laboratorios afines: Laboratorio BIM- Laboratorio de GIS. Haciendo referencia a lo expuesto en la Fig. 3, el Equipo de Proyecto queda compuesto por los alumnos y docentes de las cátedras y laboratorios mencionados.

Los Equipos de Desarrollo quedarían conformados por el Contratista Principal (O. y C. de Obras + Laboratorio BIM) y los Subcontratistas.

Los Subcontratistas conforman su grupo de trabajo involucrando alumnos y docentes de las cátedras específicas de cada contrato y de las cátedras integradoras. En efecto, cada participante tiene un rol en específico, pero todos trabajan de manera colaborativa independientemente del nivel en el que estén cursando la carrera.

La Contratista Principal debe gerenciar una gran cantidad de información que proviene de los diversos Equipos de Desarrollo donde se encuentra inmersa. Para lograr realizar estos procesos con éxito, se recurre a los conceptos que plantea la norma [IRAM-ISO 19.650-2] en la Fig. 4:



Fig. 2 - Módulo 2. Contenido del campus virtual.

Para completar la propuesta, se define que la forma de intercambio entre el laboratorio BIM y las cátedras afines sea lograr la certificación dentro del laboratorio de alguna competencia específica a definir en cada caso.

Para finalizar, se resalta la importancia de generar conexiones entre cátedras y laboratorios, buscando incorporar participantes que adicione valor a la cadena de aprendizaje, sin que dichas personas posean necesariamente conocimientos de modelado.

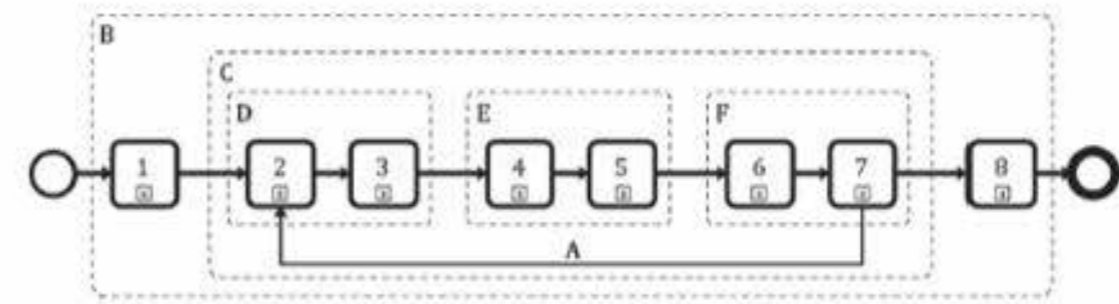
En este contexto, los proyectos piloto a desarrollar deberían ser de interés para toda la comunidad educativa y proporcionar una utilidad real que beneficie a todos los involucrados en el proceso.

## CONCLUSIONES

Luego de implementar la propuesta educativa a través de la creación de un laboratorio, se pudieron comprobar las ventajas académicas y administrativas enumeradas al inicio de este trabajo.

Resulta de gran interés para los alumnos poder participar en un proyecto colaborativo, junto a sus pares de diversos años de la carrera. Esta metodología genera interacciones similares a las que luego suceden en el ámbito del ejercicio profesional, donde los futuros graduados deben poner en práctica sus capacidades de trabajo en equipo de manera inmediata.

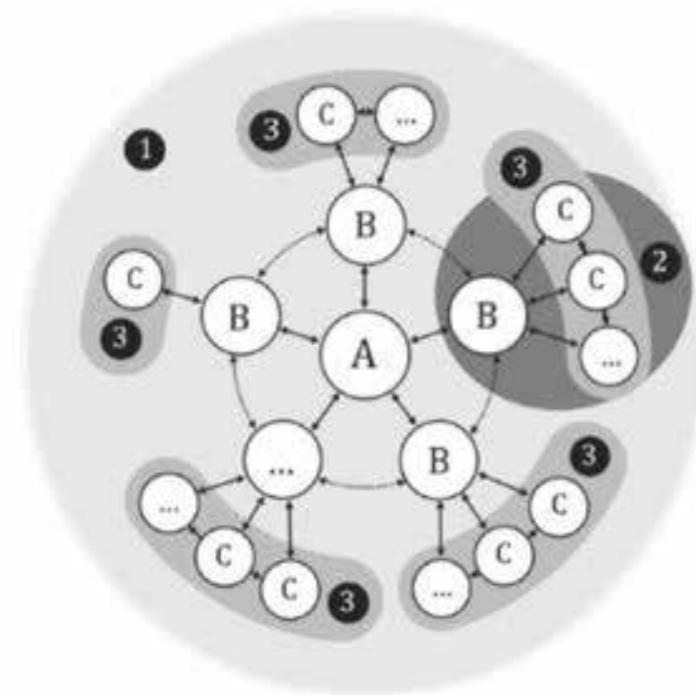
Se observa la necesidad de involucrar de manera activa a la mayor cantidad de cátedras afines e incorporar actividades conjuntas que permitan ampliar el alcance de la formación y evaluación de competencias BIM, dentro de los espacios curriculares que componen el plan de estudios vigente.



Referencias:

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| 1 | Evaluación y necesidades                           | A | Modelo de información mejorado por el (los) subsecuente(s) equipo(s) de desarrollo para cada contrato |
| 2 | Peticion de ofertas                                | B | Acciones realizadas por proyecto  |
| 3 | Presentación de ofertas                            | C | Acciones realizadas por contrato  |
| 4 | Contrato   | D | Acciones realizadas durante la fase de adjudicación de contratos (de cada contrato)                   |
| 5 | Puesta en marcha                                   | E | Acciones realizadas durante etapa de la planificación de la información                               |
| 6 | Producción colaborativa de la información          | F | Acciones realizadas durante la producción de información etapa (de cada contrato)                     |
| 7 | Entrega del modelo de información                  |   |   |
| 8 | Cierre del proyecto (fin de la fase de desarrollo) |   |   |

Fig. 4 - Proceso de gestión de la información durante la fase de desarrollo de activos [IRAM-ISO 19.650-2]



Referencias:

- |     |   |
|-----|---|
| A   | Parte contratante   |
| B   | Contratista principal                                     |
| C   | Subcontratista  |
| ... | Cantidad variable   |
| 1   | Equipo de proyecto  |
| 2   | Ilustración de un equipo de desarrollo                    |
| 3   | Equipo(s) de trabajo                                      |
| ↔   | Requisitos de información y de intercambio de información |
| ↔   | Coordinación de la información                            |

Fig.3 - Interacciones entre partes y equipos para la gestión de la información [IRAM-ISO 19.650-2]

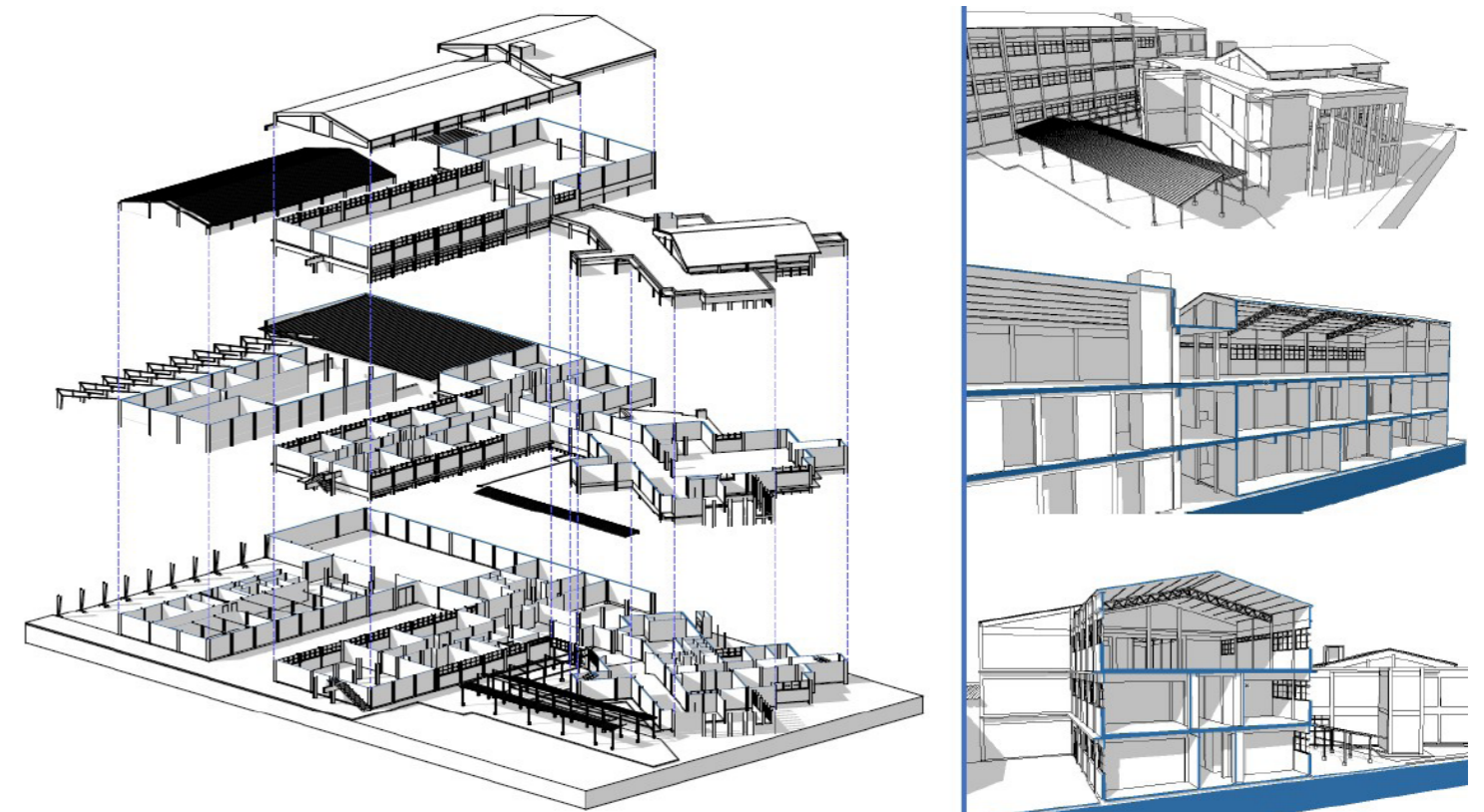


Fig. 5. Modelo BIM del edificio sede de la UTN Facultad Regional Venado Tuerto (hasta Mayo del año 2023).

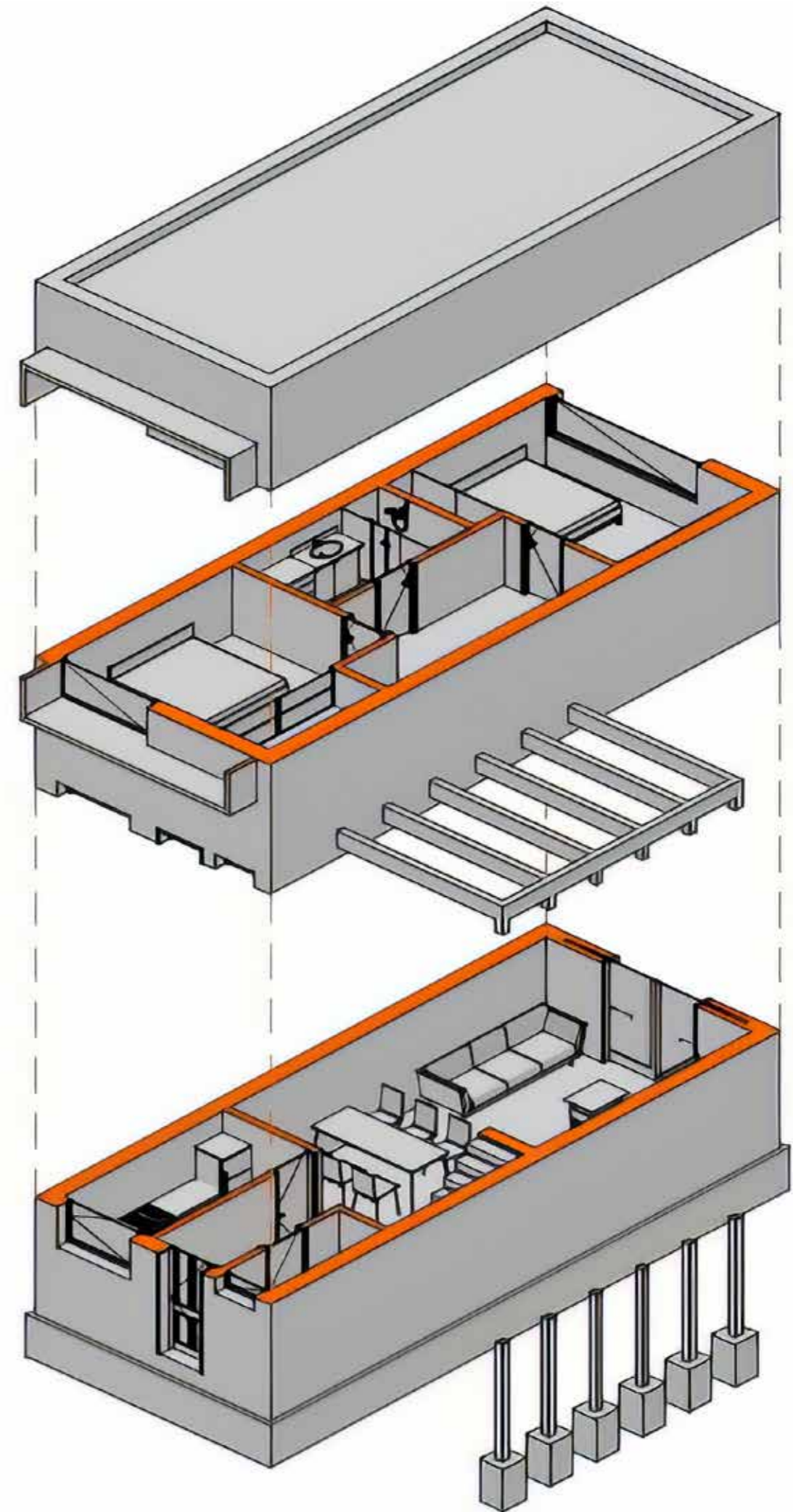
## BIBLIOGRAFÍA

[Organización y digitalización de la información en obras de arquitectura e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Parte 1- Conceptos y Principios). IRAM-ISO 19.650-1, 2020].

[Organización y digitalización de la información en obras de arquitectura e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Parte 2- Fase de desarrollo de los activos). IRAM-ISO 19.650-2, 2022].

## RECONOCIMIENTOS

A los alumnos becarios del Laboratorio BIM de la Facultad Regional Venado Tuerto de la Universidad Tecnológica Nacional por su invaluable colaboración en las tareas de relevamiento y modelado colaborativo del edificio sede de la facultad.





# LA FORMA DELLA MEMORIA. RILIEVI E MODELLI 3D PER IL CIMITERO DELLA RECOLETA, BUENOS AIRES

## THE SHAPE OF MEMORY. SURVEYS AND 3D MODELS FOR THE RECOLETA CEMETERY, BUENOS AIRES

### AUTHOR

**Sandro Parrinello<sup>1</sup>, Giulia Porcheddu<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Università di Firenze, Dipartimento di Architettura.

<sup>2</sup>Università di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura.

### EMAIL

[sandro.parrinello@unifi.it](mailto:sandro.parrinello@unifi.it)

[giulia.porcheddu@unipv.it](mailto:giulia.porcheddu@unipv.it)

## KEYWORDS

ARCHITETTURA FUNERARIA  
FAST SURVEY  
BANCHE DATI  
MODELLI 3D  
SISTEMI INFORMATIVI 3D

## ABSTRACT

I cimiteri, come luoghi di memoria in perenne divenire, richiedono strumenti che consentano di salvaguardare e trasmettere il patrimonio tangibile e intangibile ivi custodito. Attraverso la sperimentazione di metodologie di rilievo digitale e di rappresentazione tridimensionale applicate alle architetture monumentali del Cimitero della Recoleta, la ricerca intende verificare la replicabilità e sostenibilità di tali azioni nella prospettiva di strutturare un sistema informativo utile alla conservazione dei sacrari della memoria.

*Cemeteries, as places of memory in constant evolution, require tools that allow for the safeguarding and transmission of both the tangible and intangible heritage they hold. Through the experimentation of digital surveying methodologies and three-dimensional representation applied to the monumental architectures of the Recoleta Cemetery, the research aims to verify the replicability and sustainability of such actions with the goal of structuring an information system useful for the conservation of the shrines of memory.*

## UN PATRIMONIO A RISCHIO: IL CASO STUDIO DEL CIMITERO DELLA RECOLETA

Il rito commemorativo dei defunti costituisce la principale fonte di testimonianza della cultura di una società, e anche il moderno cimitero, nato come infrastruttura urbana con motivazioni igienico-sanitarie, diventa il monumento che la città dedica ai suoi morti, racchiudendo entro un recinto la memoria dei singoli sepolcri [Ragon, 1986; Aries, 1978].

Il duplice valore, collettivo e individuale, si manifesta nelle strutture edilizie, micro-architetture, dove coesistono segni stratificati e manufatti di forte carica rappresentativa [Albisinni, 1995; Etlin, 1984]. Queste forme narrano la storia di eventi significativi, mentre personalità e famiglie condividono un unico archivio di pietra e i monumenti assumono ed esprimono i valori intangibili di fattori quali la religione, lo sviluppo sociale e culturale, la fusione di identità etniche e nazionali, dinamiche politiche e governance locale [Rugg, 2000; Winter, 1995].

Nel corso del XX secolo, molti di questi luoghi hanno subito e continuano a essere soggetti a significativi deterioramenti causati da molteplici fattori, tra cui la trasformazione dell'architettura funeraria derivante dalla crescente mancanza di spazio, cambiamenti ideologici e normativi, impatti economici. La prima sfida riguarda la gestione e il mantenimento della loro funzione primaria: la sepoltura e la disposizione dei corpi. Oltre a luoghi funzionali di servizio, i cimiteri rappresentano poi un patrimonio in perenne divenire, custodi di storia in costante evoluzione [Worpole, 2003], e necessitano di interventi mirati per la sua salvaguardia nel tempo. Contemporaneamente, si configurano come veri e propri musei a cielo aperto [Walter, 2009]. È cruciale allora conservare fisicamente strutture e monumenti, ma anche promuovere una comprensione pubblica delle loro profonde radici storiche e culturali [Salinas-Chávez & Diaz, 2017].

La gestione di questi luoghi si articola quindi tra l'assolvimento della loro funzione primaria di sepoltura, il mantenimento e la conservazione delle architetture e la promozione della conoscenza delle storie e dei valori che incarnano [Rossi, 2016].

Il Cimitero della Recoleta<sup>2</sup> (Fig.1), nell'omonimo quartiere di Buenos Aires, costituisce un esempio emblematico di tale complessità. Fondato nel 1822, è rinomato per la sua eccezionale bellezza architet-

tonica e rappresenta una delle principali attrazioni culturali di Buenos Aires, attirando visitatori da tutto il mondo interessati alla presenza di mausolei e tombe appartenenti a personalità di spicco della storia argentina [Pereira et al., 2022; del Carmen Magaz et al., 1993].

L'intero cimitero è organizzato in sezioni simili a blocchi cittadini, con ampi viali alberati principali che si diramano in vicoli affollati di mausolei, espressione di una vasta gamma di stili architettonici (come Art Deco, Art Nouveau, Barocco e Neogotico) [Videla et al., 1983]. Il sito ospita un totale di 4691 *pantheones* - di cui solamente 94 sono stati dichiarati Monumenti Storici Nazionali dal governo argentino e quindi protetti dallo stato [Andruchow, 2022] - decorati con statue ed elementi in marmo importati da Parigi e Milano tra il 1880 e il 1930 [Mato, 2001]. Molti mausolei sono ancora oggi utilizzati dalle famiglie argentine, mantenendo vivo il legame con le generazioni passate e contribuendo alla continuità culturale e sociale del paese. Tuttavia, il deterioramento delle strutture, l'incuria e l'abbandono [Guiamet et al., 2013] stanno minacciando la salvaguardia delle storie custodite negli epitaffi, nelle decorazioni e nelle architetture, che raccontano le vicende familiari di un'intera società.

In questo contesto, l'adozione di approcci innovativi e soluzioni sostenibili diventa cruciale per proteggere e promuovere il patrimonio cimiteriale, garantendo che rimanga un testimone vivo e accessibile della storia e dell'identità delle comunità che ne fanno parte.

L'implementazione e la progettazione di strumenti specifici di valorizzazione e gestione cimiteriale, si basa sulla comprensione della complessità

<sup>1</sup> Tra le cause principali figurano l'urbanizzazione crescente che ha limitato lo spazio disponibile, guerre, cambiamenti culturali e religiosi che hanno influenzato le pratiche funerarie, migrazioni che hanno portato all'abbandono di cimiteri familiari, politiche governative con risorse limitate per il mantenimento, deterioramento e mancanza di manutenzione delle strutture a causa di condizioni climatiche e ristrettezze economiche a livello locale, cambiamenti demografici e disinteresse generale verso la morte. Questi fattori hanno creato significative sfide nella conservazione e nella gestione dei cimiteri, riflettendo un fenomeno complesso e in evoluzione nella cultura e nella società contemporanea. Per approfondire si veda [Maddrell et al., 2023; Rugg, 2022; Klaufus, 2014]

<sup>2</sup> Il Cimitero della Recoleta fu fondato il 17 novembre 1822. Il 5 marzo 1949 fu ufficializzato il nome di Cimitero della Recoleta; prima di questa data, il luogo era infatti conosciuto come Cimitero Generale del Nord. Per la costruzione del cimitero, a partire dal 1820, furono espropriate le terre accanto alla Chiesa del Pilar (1732) che appartenevano ai frati recoletos, membri di una congregazione francescana, da cui il nome del cimitero e del quartiere omonimo. Per approfondire si veda [Mato, 2001].

interdisciplinare del monumento. Il ripristino di questa complessità richiede un sistema informativo dedicato [Giandebiaggi et al., 2013], destinato a fungere da base per una gestione integrata del cimitero, capace di raccogliere, organizzare e condividere in modo efficiente una vasta gamma di dati e informazioni, comprendendo dati morfologici e topografici, informazioni storiche e genealogiche, nonché dati relativi alla conservazione e alla manutenzione delle strutture. L'ambizione è migliorare l'efficienza operativa, la conservazione del patrimonio e l'esperienza del visitatore attraverso l'adozione di soluzioni tecnologiche che trasformano radicalmente il modo in cui i cimiteri sono gestiti e vissuti, garantendone la conservazione e l'enfasi sul loro valore storico.

A tale scopo, è stata avviata una sperimentazione finalizzata allo sviluppo di un sistema informativo per il cimitero della Recoleta. Le azioni intraprese, dal rilievo digitale alla modellazione tridimensionale, sono mirate alla verifica della sostenibilità del metodo di rappresentazione proposto, e ad individuare le problematiche e le peculiarità del caso studio specifico in relazione all'elaborazione di un gemello digitale del cimitero.



Fig. 1 - Il Cimitero della Recoleta. Sopra: Conformazione del cimitero e particolari dei pantheones. Sotto: Alcuni esempi dello stato di conservazione dei monumenti. Elaborazione degli autori.

## WORKFLOW OPERATIVI PER LA RAPPRESENTAZIONE DIGITALE DELL'ARCHITETTURA FUNERARIA

La campagna di rilievo digitale ha visto l'impiego di strumentazioni e tecniche di acquisizione opportunamente diversificate per definire un sistema di riferimento affidabile, capace di dialogare tra la scala della rappresentazione architettonica del monumento con quella urbana del cimitero. In particolare, l'utilizzo di strumentazioni quali laser scanner mobile (Geoslam Zeb Horizon) e tecniche fotogrammetriche da terra (Canon 2000D), ha permesso il rilievo integrato di un'ampia porzione del cimitero: i settori dell'area centrale e immediatamente adiacenti. L'efficacia delle metodologie di rilievo utilizzate è stata valutata in vista dei processi di disegno e restituzione grafica delle complessità morfologiche architettoniche e decorative, nel rispetto di vincoli temporali stringenti e con un livello di qualità tale da consentire l'esplorazione di varie tecniche di modellazione (*Mesh*, *Nurbs* e parametriche) finalizzate alla strutturazione di un database tridimensionale implementabile nel tempo [Dell'Amico, 2021].

I settori dell'area centrale sono stati acquisiti sfruttando il laser scanner mobile (Fig.2) secondo approcci differenziati basati sul numero di percorsi effettuati: 7 percorsi chiusi, 3 percorsi chiusi e 1 percorso aperto per ciascun settore. Questo approc-

cio ha garantito una ridondanza del dato acquisito, fondamentale per il confronto e la verifica delle informazioni raccolte [Barba et al., 2021]. Nonostante ogni scansione sia stata completata in meno di 15 minuti, il dataset ha mostrato delle limitazioni: distorsioni causate dal passaggio delle persone, riflessi dovuti ai materiali di rivestimento e estensione dell'area rilevata. La selezione, ottimizzazione su software Geoslam Connect e registrazione del dataset su Leica Cyclone hanno permesso di elaborare un database laser affidabile dal punto di vista morfometrico. La registrazione *cloud-to-cloud* delle scansioni dei diversi settori ha portato all'elaborazione di 7 *cluster*. Una volta registrati tra loro, questi cluster hanno consentito di ottenere un database finale con un margine di errore inferiore al centimetro.

Per integrare il rilievo estensivo laser con un'acquisizione di dettaglio degli apparati decorativi e scultorei, è stata condotta parallelamente una campagna di acquisizione fotogrammetrica su 4 settori selezionati. Le modalità di acquisizione sono state fortemente condizionate dalla morfologia del sito. In particolare, data la prossimità dei fronti dei monumenti funerari, la presenza di materiali riflettenti, uniti a condizioni di luce non ottimali, l'acquisizione è stata effettuata seguendo percorsi di ripresa che potessero minimizzare l'errore, evitando riprese frontali e condizioni controluce, con una successione sequenziale dei fotogrammi [Picchio, 2019].

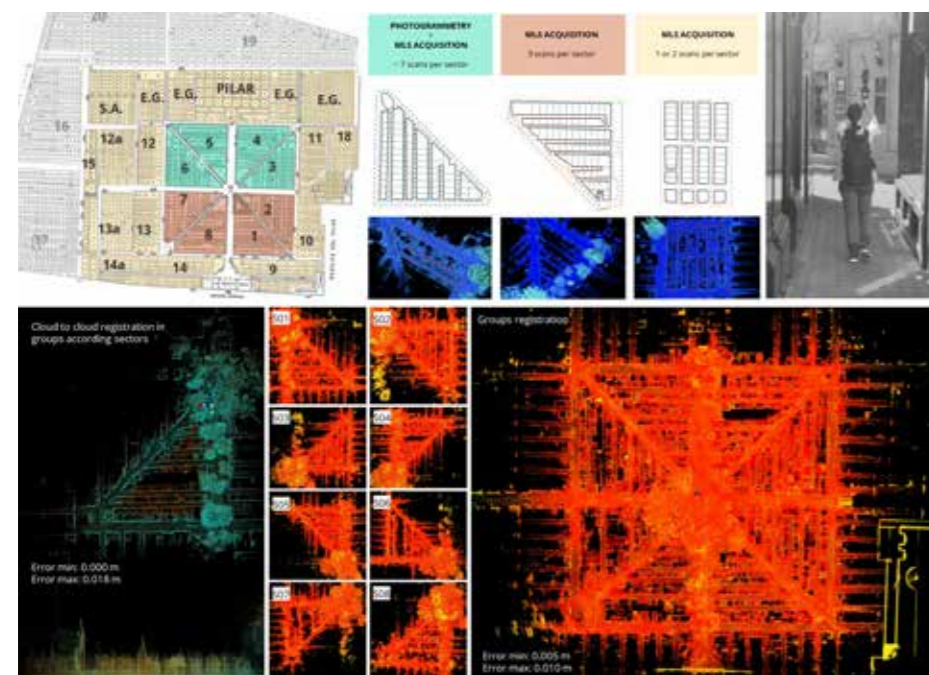


Fig. 2 - Acquisizione MLS. Sopra: Suddivisione delle aree secondo tecniche di rilievo e percorsi di acquisizione. Sotto: Registrazione cloud-to-cloud delle nuvole di punti dell'area centrale, prima secondo cluster relativi a ciascun settore del cimitero, e poi referenziati tra loro in un'unica nuvola. Elaborazione degli autori.

Ogni dataset (circa 4000 fotografie per dataset), è stato suddiviso sulla base dei blocchi relativi al singolo settore ed elaborato su software fotogrammetrico Agisoft Metashape (Fig.3). La possibilità di ottimizzare la nuvola di punti densa attraverso un processo semiautomatico di pulizia, secondo *point confidence*, ha consentito di ottenere dei database fotogrammetrici affidabili e gestibili. I modelli tridimensionali mesh relativi ad ogni blocco sono quindi stati referenziati secondo le coordinate laser (errore massimo medio di 5 cm).

L'integrazione dei database, fotogrammetrico e laser, ha consentito di ottenere una base morfometrica affidabile su cui impostare le successive fasi di modellazione.

Una delle principali sfide in questo ambito è la rappresentazione grafica delle informazioni raccolte. Per rispondere adeguatamente alle esigenze di documentazione, conservazione e restauro, e valorizzazione, è necessario restituire graficamente le caratteristiche valutate, adottando la modalità più appropriata per ciascun obiettivo specifico [Parrinello, et al., 2020]. È fondamentale modulare l'accuratezza della rappresentazione grafica in funzione delle diverse scale cimiteriali (urbana, architettonica e di dettaglio) e al contempo garantire una sostenibilità del metodo su ampia scala, sia in termini di flusso di lavoro, sia in termini di gestione su piattaforme desktop e online dei modelli 3D.

Il workflow di modellazione proposto è stato applicato a un'area campione, il blocco A del settore 5, per

sperimentare la metodologia e verificarne l'applicabilità su vasta scala. Il sito scelto è caratterizzato da un'ampia varietà tipologica di mausolei, da complessi e articolati particolari decorativi, e da un database particolarmente affidabile sia nella ricostruzione delle geometrie che nel controllo dell'errore (Fig.4).

Il processo di modellazione è stato modulato in base a fattori come il livello di informazione/dettaglio richiesto e la complessità morfologica degli elementi. A partire dal database di rilievo, il workflow di modellazione ha previsto la combinazione di diverse tipologie di modellazione (*Mesh*, *Nurbs*, parametrica) a seconda del livello di dettaglio necessario: rispettivamente, per gli apparati decorativi e scultorei, per gli elementi architettonici e per le strutture. Le strutture edilizie sono state modellate, per volumi e aperture, utilizzando un processo *Scan to BIM* grazie all'integrazione tra i software Autodesk Recap e Autodesk Revit. Su questa base geometrica sono state impostate le successive fasi di modellazione [Hichri et al., 2013; Andriasyan et al., 2020].

Per consentire un maggior livello di dettaglio e una migliore aderenza all'oggetto rappresentato, gli apparati decorativi e scultorei sono stati ricostruiti utilizzando modelli *mesh* fotogrammetrici (Fig.5). Dopo l'importazione delle mesh nel software Blender, sono stati applicati processi di ricostruzione e *sculpting* per ottimizzare e perfezionare le geometrie, levigare le superfici e ridurre il numero di poligoni, al fine di ottenere modelli *reality-based* gestibili anche su altre piattaforme. I modelli così

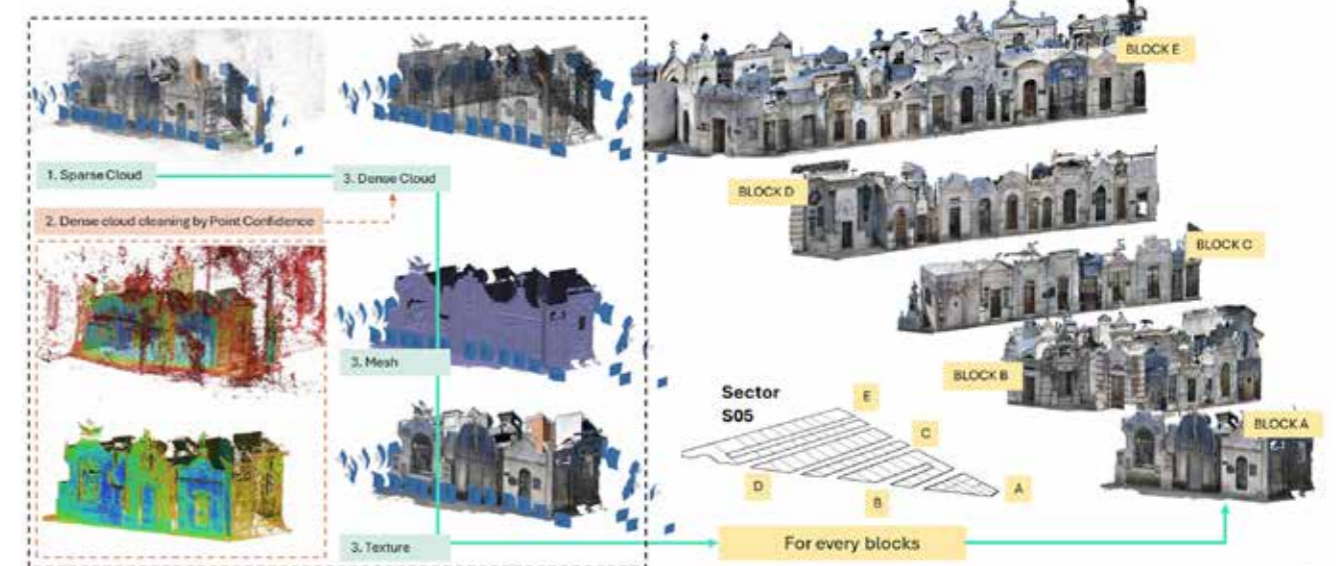


Fig. 3 - Elaborazione dei modelli fotogrammetrici. Per ogni blocco di ogni settore, sono state rispettivamente elaborate: nuvola sparsa, nuvola densa, mesh e texture. Tramite l'allineamento per target, da coordinate laser, i blocchi sono stati referenziati tra loro ottenendo un modello fotogrammetrico completo di tutti i fronti nel settore. Elaborazione degli autori.

ottimizzati sono stati successivamente importati nel software McNeel Rhinoceros per l'integrazione con l'apparato architettonico.

La modellazione *Nurbs* degli elementi architettonici ha permesso di ottenere un dettaglio adeguato, un controllo ottimale delle geometrie e una gestione più agevole degli strumenti rispetto alle opzioni offerte dai software BIM. Tuttavia, per rendere informativi e parametrici questi elementi, incorporando informazioni costruttive e tipologiche, sono stati necessari degli accorgimenti per la successiva integrazione nell'ambiente Revit. Per organizzare e classificare gli apparati architettonici e garantire la strutturazione di un abaco degli elementi funerari, la modellazione in Rhinoceros è stata organizzata in *layer* e livelli di dettaglio (Fig.6).

A ciascun monumento funerario è stato assegnato un livello nominato in base al proprio codice, e gli elementi architettonici sono stati suddivisi in categorie o *layer*, quali strutture, rivestimenti, arredo funebre e infissi, seguendo una struttura ad albero.

Utilizzando Rhino.Inside.Revit, i *layer* strutturati sono stati integrati nell'ambiente BIM attraverso l'utilizzo del plug-in Grasshopper per Rhinoceros. Grazie alla gestione dei collegamenti, componenti specifici sono stati associati ai vari *layer*, consentendo l'assegnazione di proprietà quali Nome, Categoria e Materiale a ciascun elemento nell'ambiente BIM (Fig.7). Questo ha permesso di colmare il divario tra la modellazione *free-form* di Rhino e il contesto del BIM [Acosta et al., 2022], aprendo le porte dell'ecosistema di Grasshopper all'interno di Revit e consentendo la creazione di un nuovo flusso di lavoro strutturato.

## VERSO UN SISTEMA INFORMATIVO CIMITERIALE

La banca dati tridimensionale così strutturata ha una duplice funzione: da un lato, rappresenta il gemello digitale del cimitero, catturando con precisione lo stato attuale del complesso architettonico e dei suoi elementi decorativi; dall'altro, funge da contenitore di informazioni eterogenee, comprese informazioni storiche, architettoniche e anagrafiche [Parrinello et al., 2023].

Una fase successiva della ricerca, ancora in fase iniziale, prevede l'uso di sistemi informativi georeferenziati per collegare i dati tridimensionali con le informazioni provenienti dalle azioni di censimento

in loco e dalla ricerca d'archivio, opportunamente organizzate. Il flusso di lavoro (Fig.8) prevede il collegamento diretto tra il modello parametrico su Revit e l'ambiente geografico di ESRI ArcGIS Pro [Bazzetti et al., 2021; Sammartano et al., 2021].

L'integrazione delle informazioni anagrafiche, storiche, conservative e la strutturazione del database informativo sono gestite attraverso *DBMS FileMaker Pro Advanced*. Questo software, sebbene non dotato di strumenti *SQL* professionali, fornisce funzioni di utilizzo immediato sufficienti per creare e gestire database complessi [Yerkey, 2004]. La possibilità di sviluppare un'interfaccia utente semplice e la facilità nella creazione di tabelle relazionate, supportata dall'applicazione FileMaker Go per la compilazione diretta dei *record* in loco, permette la strutturazione e il popolamento del cimitero virtuale.

Sfruttando gli strumenti di ArcGIS Online, l'obiettivo è strutturare la condivisione delle informazioni e dei dati raccolti per fornire un beneficio sinergico a tutti gli utenti coinvolti, inclusi uffici, personale di gestione, soprintendenza, studiosi accreditati e il pubblico in generale, ciascuno secondo le proprie competenze.

Questo approccio integrato consentirà una comprensione più profonda e interconnessa del complesso monumentale, andando oltre la semplice gestione ordinaria del cimitero, promuovendone la conoscenza e la valorizzazione. Facilitando l'accesso e la condivisione di informazioni eterogenee, questo sistema fornirà una base solida per azioni concrete di conservazione e salvaguardia della memoria associata al cimitero della Recoleta e alle storie custodite al suo interno.

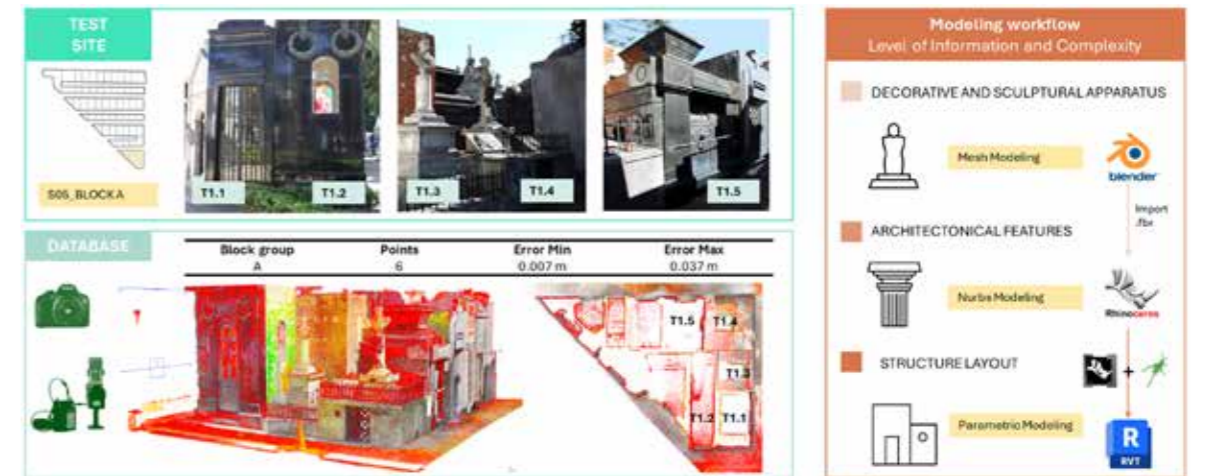


Fig.4 - A sinistra: selezione dell'area campione e struttura del database da rilievo integrato. A destra: struttura del flusso di lavoro per le successive fasi di modellazione tridimensionale. Elaborazione degli autori.

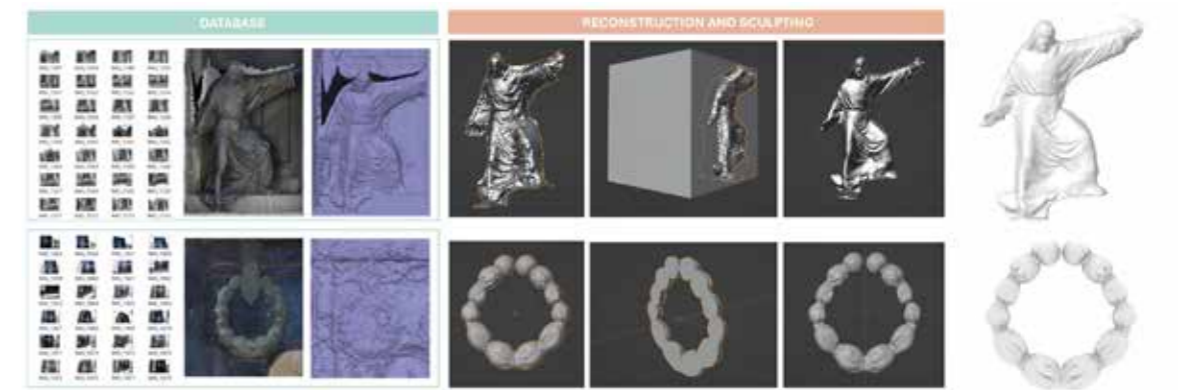


Fig.5 - Modellazione mesh degli apparati decorativi e scultorei a partire dal database fotogrammetrico. Elaborazione degli autori.

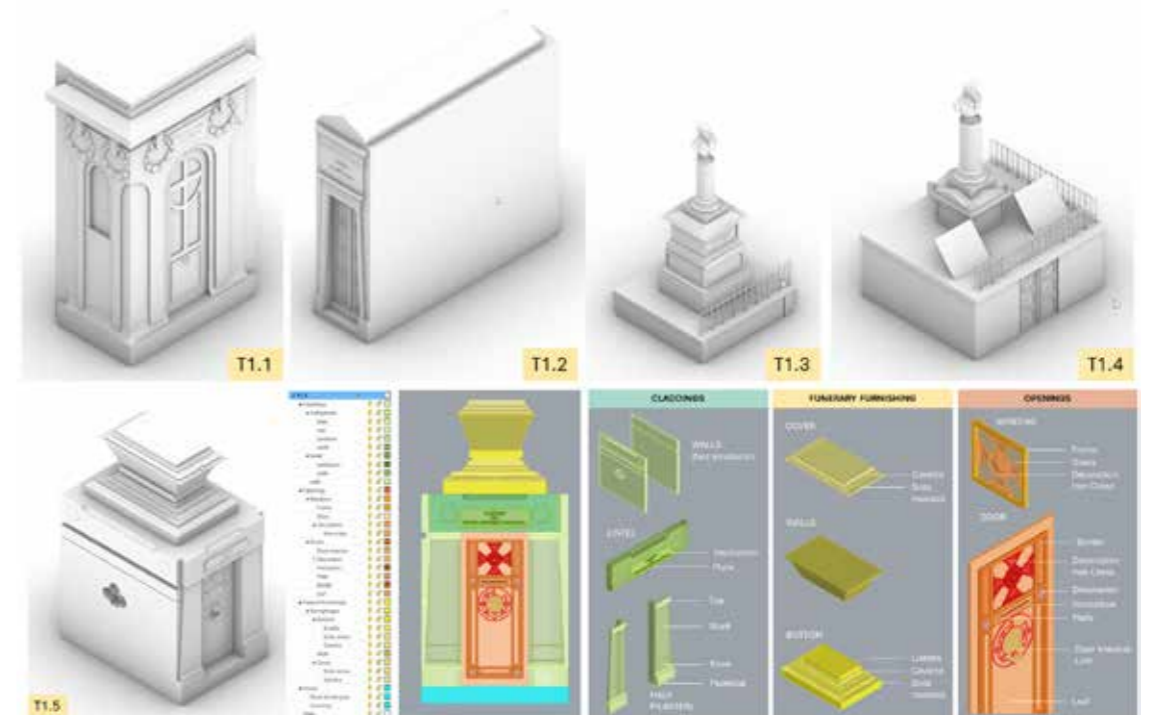


Fig.6 - Modellazione Nurbs degli elementi architettonici e integrazione degli elementi mesh. In basso la suddivisione in layer per il successivo collegamento in ambiente BIM. Elaborazione degli autori.

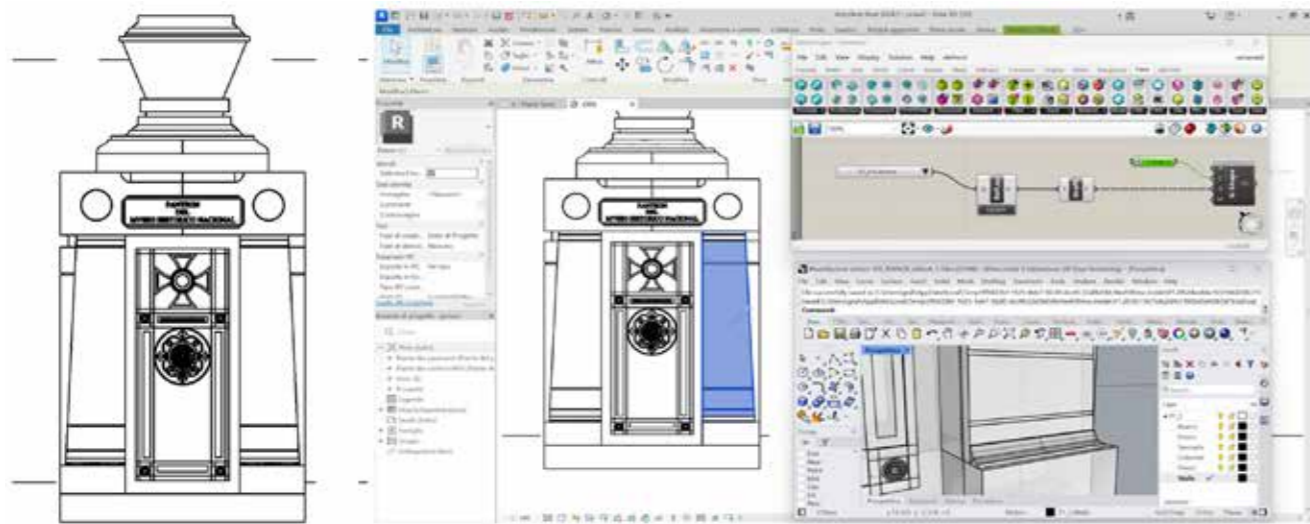


Fig.7 - Integrazione dei layer all'interno di Revit e attribuzione delle proprietà a ciascun elemento attraverso RhinoInsideRevit e Grasshopper per Rhinoceros. Elaborazione degli autori.

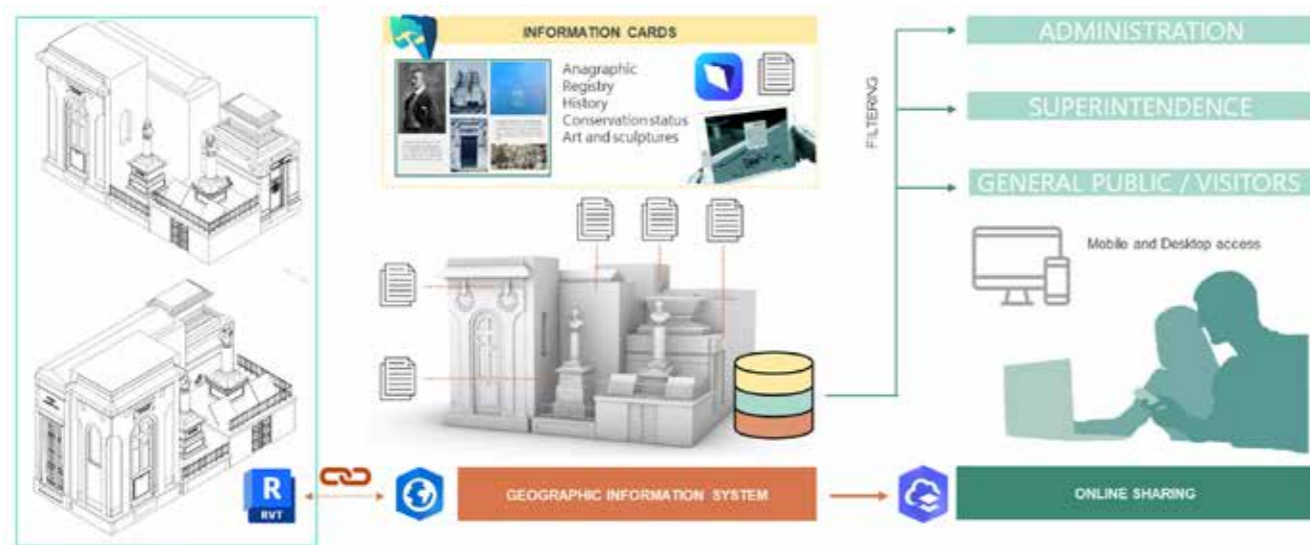


Fig.8 - Integrazione database all'interno di ambiente georeferenziato per lo sviluppo di un sistema informativo cimiteriale, sia desktop che online, per la condivisione e il popolamento dei dati. Elaborazione degli autori.

## BIBLIOGRAFIA

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. In *International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 9-16.

Albisinni, P. (1995). *Il disegno della memoria. Storia, rilievo e analisi grafica dell'architettura funeraria del XIX secolo*, Edizioni Kappa, Roma

Andriasyan, M., Moyano, J., Nieto-Julián, J. E., & Antón, D. (2020). From point cloud data to building information modelling: An automatic parametric workflow for heritage. In *Remote Sensing*, 12(7), 1094.

Andruchow, M. (2022). *Patrimonio cultural del cementerio de la Recoleta: "El Panteón de los Ciudadanos Meritorios"* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

Aries, P. (1978). *Storia della morte in occidente. Dal Medioevo ai giorni nostri*. Rizzoli, Milano

Barazzetti, L., & Roncoroni, F. (2021). Generation of a multi-scale historic BIM-GIS with digital recording tools and geospatial information. In *Heritage*, 4(4), 3331-3348.

Barba, S., Ferreyra, C., Cotella, V. A., di Filippo, A., & Amalfitano, S. (2021, July). A SLAM integrated approach for digital heritage documentation. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 27-39). Cham: Springer International Publishing.

Del Carmen Magaz, M., & Arevalo, M. B. (1993). *El cementerio de la Recoleta. Atractivo turístico de la Ciudad de Buenos Aires*. Signos Universitarios, 12(24).

Dell'Amico, A. (2021). Mobile Laser Scanner Mapping System's for the Efficiency of the Survey and Representation Processes. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 199-205.

Etlin, R. (1984). *The architecture of death*. Cambridge, MA: MIT.

Giandebiaggi, P., Rossi, M., Tedeschi, C. (2013). The "survey of memory". Cultural heritage in cemeteries: development of a catalogue protocol from the "representation" of multidisciplinary researches. In *Built Heritage 2013 Monitoring Conservation Management*

Guiamet, P., Crespo, M., Lavin, P., Ponce, B., Gaylarde, C., de Saravia, S. G. (2013). *Biodeterioration of funeral sculptures in La Recoleta Cemetery, Buenos Aires, Argentina: Pre-and post-intervention studies*. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 101, 337-342.

Hichri, N., Stefani, C., De Luca, L., Veron, P., & Hamon, G. (2013). From point cloud to BIM: a survey of existing approaches. In *XXIV International CIPA Symposium (p. na). Proceedings of the XXIV International CIPA Symposium*.

Klaufus, C. (2014). Deathscapes in Latin America's metropolises: Urban land use, funerary transformations, and daily inconveniences. In *European Review of Latin American and Caribbean Studies/Revista Europea de Estudios Latinoamericanos y del Caribe*, 99-111.

Maddrell, A., Beebeejaun, Y., Kmec, S., & Wingren, C. (2023). Cemeteries and crematoria, forgotten public space in multicultural Europe. An agenda for inclusion and citizenship. In *Area*, 55(1), 125-133.

Mato, O. L. (2001). *Ciudad de ángeles: historia del Cementerio de la Recoleta*. OLMO Ediciones.

Parrinello, S., De Marco, R., & Galasso, F. (2020). Un protocollo di modellazione urbana mediante abachi e moduli tecnologici. Dal rilievo digitale al sistema informativo 3D per il centro storico di Betlemme. In *3D MODELING & BIM. Data Modeling & Management for AECO Industry (Vol. 5, pp. 62-83)*. DEI srl Tipografia del Genio Civile.

Parrinello, S., & Picchio, F. (2023). Digital Strategies to Enhance Cultural Heritage Routes: From Integrated Survey to Digital Twins of Different European Architectural Scenarios. In *Drones*, 7(9), 576.

Pereira, T., Pereira, M. D. L., & Limberger, P. F. (2022). Dark tourism: analysis of the relationship between motivations, experiences, and benefits of visitors at Recoleta Cemetery, Argentina. In *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, 16, e-2493.

Picchio, F. (2019). *La fotogrammetria close range per la costituzione di modelli SfM affidabili sul sistema urbano./The close range photogrammetry for the creation of reliable SfM models of urban system*. *Disegno, Rilievo e Progettazione*, 119-138.

Ragon, M. (1986). *Lo spazio della morte: saggio sull'architettura, la decorazione e l'urbanistica funeraria (Vol. 2)*. Guida Editori.

Rossi, M., Tedeschi, C. (2011). Architettura della memoria: note alla compilazione di un protocollo per la catalogazione dei cimiteri monumentali. In *Le vie dei mercanti - Save Heritage* (pp. 1-8). La Scuola di Pitagora editrice.

Rossi, M. (2016). L'altra città. Modelli urbani e riferimenti simbolici tra mondo profano e sacralità. In *La Certosa di Ferrara. Una città nella città* (pp. 126-141). Bononia University press.

Rugg, J. (2000). Defining the place of burial: what makes a cemetery a cemetery?. In *Mortality*, 5(3), 259-275.

Rugg, J. (2022). Social justice and cemetery systems. In *Death Studies*, 46(4), 861-874.

Salinas-Chávez, E. y Díaz, J. (2017). Turismo en los cementerios. El caso de la necrópolis de Colón, La Habana. En *Revista Geografía de América Central*, 2(58), 243-263

Sammartano, G., Avena, M., Cappellazzo, M., & Spanò, A. (2021). Hybrid GIS-BIM approach for the Torino digital-twin: The implementation of a floor-level 3D city geodatabase. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 423-430.

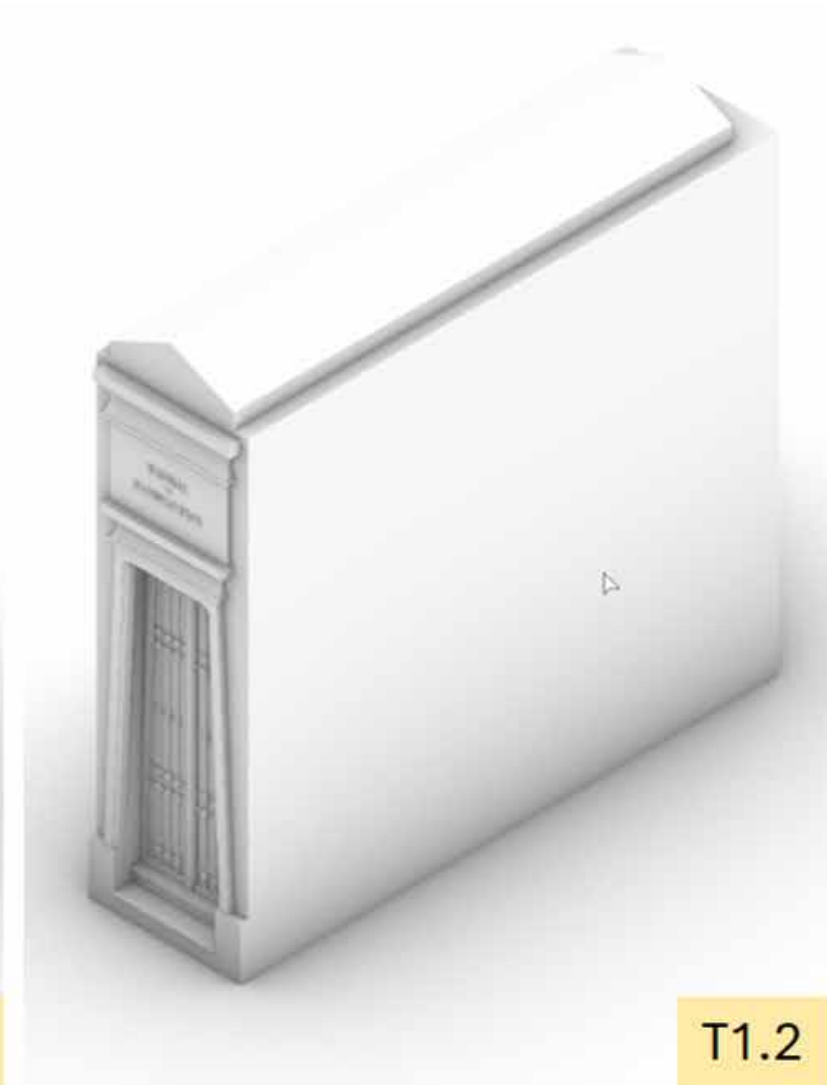
Videla, A. D., Orloff, L., & Wannier, M. (1983). *La Recoleta: una ciudad dentro de otra*. Libros de Hispanoamérica.

Walter, T. (2009). *Dark tourism: Mediating between the dead and the living. The darker side of travel: The theory and practice of dark tourism*, 39-55.

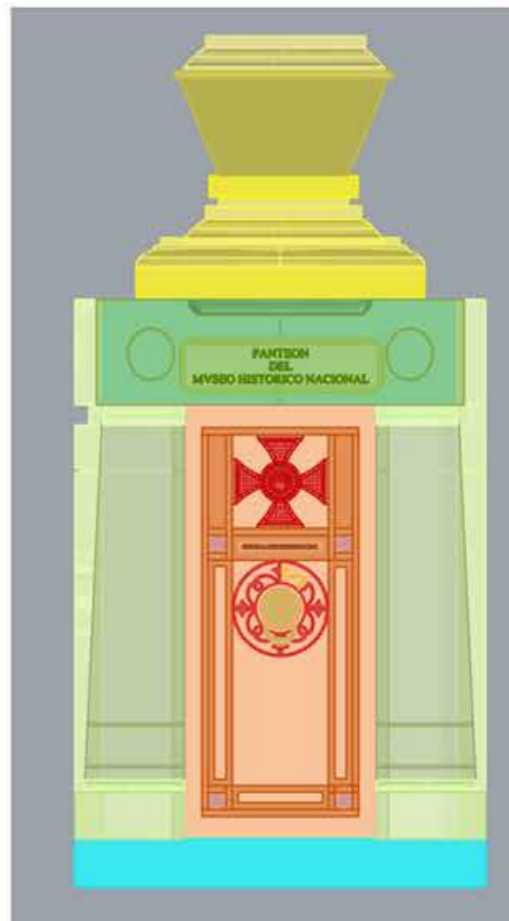
Winter, J. (1995). *Sites of memory, sites of mourning*. Cambridge: Cambridge University Press.

Worpole, K. (2003). *Last landscapes: The architecture of the cemetery in the West*. Reaktion Books.

Yerkey, A. N. (2004). *Filemaker pro 7: Easy to use relational database management system*. *Library & archival security*, 19(1), 15-27.



T1.5	
Claddings	
Half pilaster	
base	
top	
pedestal	
shaft	
Lintel	
inscription	
plate	
walls	
Openings	
Windows	
Frame	
Glass	
Decoration	
Iron cross	
Doors	
Door knocker	
Decoration	
Inscription	
Plate	
Border	
Leaf	
Funeral furnishings	
Sarcophagus	
Bottom	
Listello	
Gola rovesc	
Cavetto	
Walls	
Cover	
Gola rovesc	
Cavetto	
Floors	
Floor on the gros	
Covering	
Walls	



# METODOLOGIE E STRUMENTI GIS-HBIM PER IL RILIEVO E LA CONOSCENZA DEL PATRIMONIO RURALE MODERNO

## GIS-HBIM METHODOLOGIES AND TOOLS FOR SURVEYING AND UNDERSTANDING MODERN RURAL HERITAGE

### AUTHOR

Raffaele Pontrandolfi<sup>1</sup>, Antonio Bixio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Architettura (Università degli Studi Roma Tre)

<sup>2</sup>Scuola di Ingegneria (Università degli Studi della Basilicata)

### EMAIL

raffaele.pontrandolfi@uniroma3.it

antonio.bixio@unibas.it

## KEYWORDS

COLONIZZAZIONE RURALE  
METODOLOGIE E STRUMENTI ICT  
HERITAGE BUILDING INFORMATION  
MODELING  
GEOGRAPHICAL INFORMATION  
SYSTEM  
RICOSTRUZIONE DIGITALE

## ABSTRACT

Il tema della sistematizzazione della conoscenza relativa al patrimonio rurale della colonizzazione agraria in Italia e Spagna, avvenuta durante la seconda metà del secolo scorso, risulta fondamentale ai fini della riscoperta di alcuni esempi di valore storico-testimoniale anche attraverso l'utilizzo di metodologie e strumenti digitali dell'ICT. Il contributo affronta questo argomento di ricerca mediante specifiche analisi conoscitive elaborate su alcuni casi studio scelti.

*The topic of systematizing knowledge related to rural heritage from agricultural colonization in Italy and Spain, which took place during the second half of the last century, is crucial for the rediscovery of certain examples of historical and testimonial value, also through the use of digital methodologies and ICT tools. This contribution addresses this research topic through specific analytical studies developed on selected case studies.*

## AMBITO DELLA RICERCA. IL PROCESSO DI RIFORMA AGRARIA E COLONIZZAZIONE RURALE IN ITALIA E SPAGNA

Il contesto preso a riferimento in questo studio riguarda i processi di bonifica, trasformazione fondiaria e colonizzazione insediativa realizzati nell'ambito dei rispettivi programmi di sviluppo territoriale, promossi a livello statale dai governi nazionali italiano e spagnolo tra la prima e la seconda metà del Novecento.

La scelta di analizzare comparativamente questi due contesti è giustificata in virtù delle molteplici analogie e differenze riscontrate in entrambe le realtà, tanto in termini di risultati raggiunti dai rispettivi progetti di riforma quanto per l'approccio e le scelte relative alla pianificazione dei nuovi insediamenti rurali nei rispettivi territori [Villanueva et al., 1991; Álvaro Tordesillas, 2010, 2013; Basiricò, 2018]. Tali processi si svilupparono a partire dalle prime esperienze promosse, tra gli anni Venti e Trenta del secolo scorso<sup>1</sup>, assumendo solo però a partire dalla fine del Secondo Conflitto Mondiale un ruolo di rilievo per la politica di sviluppo abitativo e socioeconomico di entrambe le nazioni<sup>2</sup>.

Questi programmi di riassetto territoriale vennero prefissati, in ambo i contesti, per risolvere il secolare problema del latifondo e dello spopolamento delle campagne, particolarmente presente nel Mezzogiorno e nelle isole, promuovendo interventi di modernizzazione infrastrutturale, bonifica idraulica e l'introduzione di nuovi sistemi di coltivazione (Fig. 1). In Italia, vennero emanate le tre Leggi di Riforma Agraria nel 1950 (la cosiddetta "Legge Stralcio" n. 841 e le due leggi relative alla Calabria e alla Sicilia), con la contestuale istituzione di organismi come la Casa per il Mezzogiorno (Legge n. 646, 1950), i Consorzi di bonifica e i rispettivi Enti di Riforma negli otto comprensori oggetto di trasformazione [Misiani et al., 2017].

In Spagna, vennero invece costituiti l'INC (Instituto Nacional de Colonización) e l'INV (Instituto Nacional de Vivienda), organismi preposti all'applicazione dei relativi decreti legislativi sulla colonizzazione integrale (emanati tra il 1939 e il 1949), affidata poi alle rispettive delegazioni provinciali nelle dieci conche idrografiche istituite dal regime franchista [Monclús et al., 1988; Calzada Pérez, 2006].

## APPROCCI METODOLOGICI ICT PER LA SISTEMATIZZAZIONE DELLA CONOSCENZA

La presente ricerca è partita innanzitutto da una ricognizione preliminare delle principali esperienze recenti<sup>3</sup>, rispetto al tema della conoscenza e del rilievo sul patrimonio degli insediamenti di colonizzazione italiani e spagnoli (Fig. 2).

In questo senso, il rilievo costituisce un percorso di conoscenza molto ampio che presuppone una serie di attività mirate all'acquisizione di una documentazione completa [Conte, 2007; Chiarabando et al., 2016]. Rispetto alle finalità di questo studio, l'impiego di approcci metodologici e sistemi informatici applicati al patrimonio rurale moderno nei due contesti analizzati ha costituito un importante ausilio ai fini della sistematizzazione della conoscenza e delle analisi comparative effettuate su alcuni casi studio scelti anche in relazione ad un loro possibile recupero e riuso compatibile (Fig. 3). L'utilizzo congiunto di tecnologie di tipo GIS e BIM rappresenta una metodologia fondamentale per indagare, alle diverse scale di approfondimento, i tessuti urbani e le tipologie architettoniche dei villaggi rurali realizzati (o solo progettati) durante la colonizzazione italiana e spagnola proprio per la complessità e la natura multiscale di questi complessi insediativi.

Sebbene siano stati sviluppati in tempi e con modalità differenti, entrambi i sistemi si basano sul concetto di 'informazione' e sono accomunati dalla connessione di un database geometrico-semantic

<sup>1</sup> Tali programmi vennero promossi da organismi quali l'ONC (Opera Nazionale Combattenti) e dall'ECLS (Ente per la Colonizzazione del Latifondo Siciliano) durante la Bonifica Integrale mussoliniana in Italia, e contestualmente dalla JCCRI (Junta Central de Colonización y Repoblación Interior) e successivamente dall'OPER (Obras de Puesta en Riego) in ambito iberico [Pontrandolfi & Raguso, 2022].

<sup>2</sup> Tra l'inizio degli anni Cinquanta e la seconda metà del decennio successivo, vennero trasformati in entrambe le nazioni circa 500.000 ettari complessivi di superficie (suddivisa rispettivamente in terreni irrigui e seccagni) con la realizzazione di quasi 150 insediamenti ciascuno ed il trasferimento di un numero compreso tra le 50.000 e le 80.000 famiglie contadine [Pérez Escolano & Calzada Pérez, 2008].

<sup>3</sup> Tra gli studi condotti in ambito accademico, sono state prese a riferimento due indagini svolte rispettivamente da gruppi di ricerca dell'Università della Basilicata e dell'ETSA dell'Universidad de Sevilla. Nel primo caso, è stato sviluppato nel 2004 un PRIN (Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale) relativo al rilievo, alla documentazione e alla ricostruzione digitale dei borghi rurali del Novecento in Basilicata [Conte, 2007]. Nel secondo caso, il gruppo ADICI (Aula Digital de la Ciudad - HUM 810) ha condotto una ricerca sui pueblos dell'INC realizzati nelle province di Siviglia e Cadice attraverso l'impiego di modelli digitali [Bravo Bernal & Castellano Román, 2010].

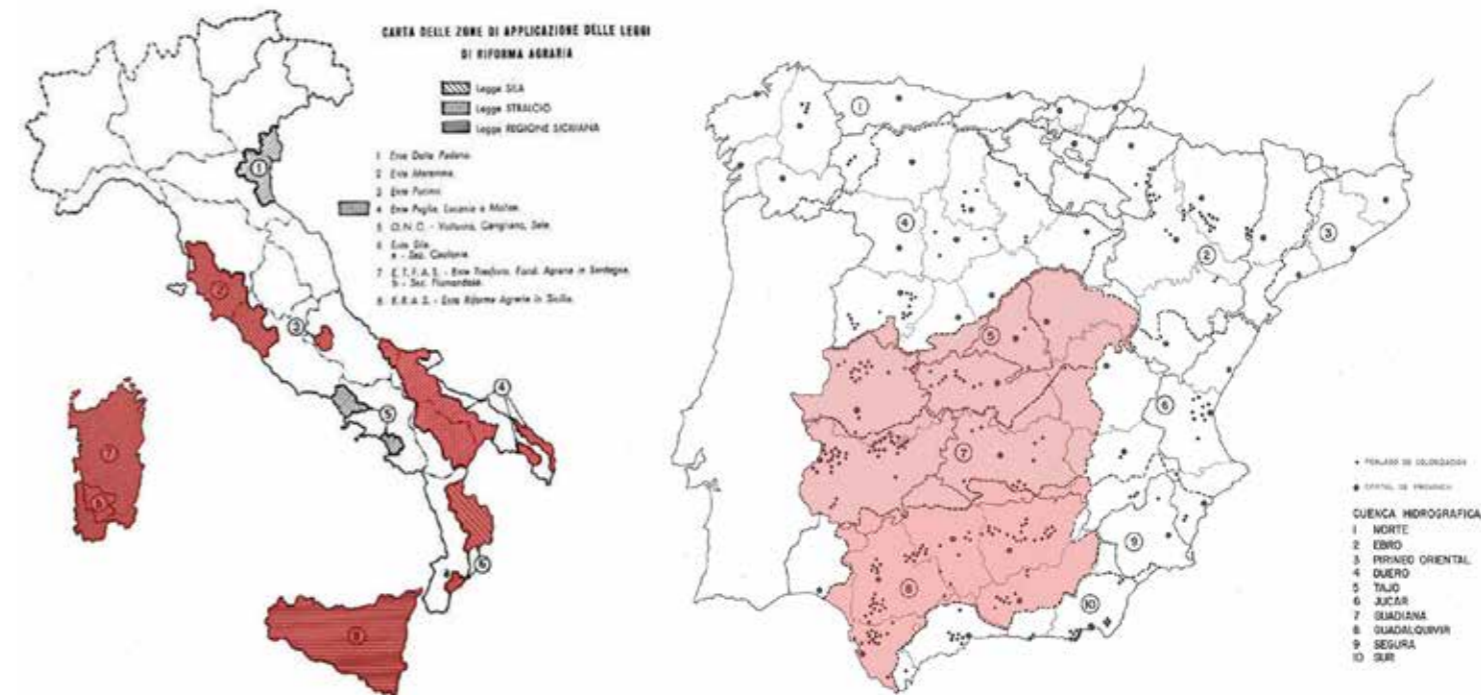


Fig. 1 - Mappe delle zone interessate dalla riforma agraria in Italia e in Spagna. In rosso le aree con maggiore concentrazione realizzativa dei borghi. (Fonti: Archivio di Stato di Bari; Villanueva & Maldonado, 1991, p. 108).



Fig. 2 - Ricostruzione digitale con modelli BIM degli edifici pubblici di progetto e realizzati nel borgo rurale di Policoro (MT, 1951-1959) nell'ambito del progetto PRIN 2004. (Elaborazione grafica degli autori; Conte, 2007).



riferito ad una rappresentazione di entità geometriche: punti, linee e poligoni nel GIS; oggetti parametrici nel BIM. Questa differenza nello sviluppo e gestione delle informazioni è dovuta principalmente alle diverse finalità, scale d'intervento e tipologia di utenza che contraddistinguono le rispettive tecnologie.

Nonostante le evidenti differenze riscontrate, l'impiego congiunto di tali metodi e strumenti digitali afferenti all'ICT (*Information and Communication Technologies*) risulta determinante per la strutturazione e la gestione di apparati informativi mediante lo sviluppo di piattaforme e modelli tridimensionali riferiti agli insediamenti e alle architetture della colonizzazione, a partire dal reperimento delle fonti documentali d'archivio e al rilievo sul patrimonio esistente. Lo sviluppo di un database costantemente implementabile consentirebbe di ordinare le fonti e i dati reperiti, spesso tra loro discordanti, con finalità sia di tipo scientifico e divulgativo, sia per sviluppare ipotesi di recupero, tutela e rifunzionalizzazione di questi complessi agricoli.

### I CASI STUDIO SCELTI: SANTA MARIA D'IRSI (1948), LA MARTELLA (1951) E CAÑADA DE AGRA (1962)

L'indagine è stata condotta a partire da un preventivo riconoscimento dei principali esempi di valore storico-testimoniale presenti in entrambi i contesti presi a riferimento, rispetto a specifici criteri storico critici già individuati da alcuni organismi e istituti per la tutela e la salvaguardia del patrimonio moderno (Do.co.mo.mo International, con le rispettive sezioni Italia e Ibérico, l'ICOMOS e altre fondazioni pubbliche e private).

In particolare, sono state individuate opere di particolare rilievo ambientale ed architettonico tra i borghi di tipo residenziale, particolarmente significativi per l'evoluzione insediativa, tipologica e tecnologica del periodo storico esaminato anche in relazione al paesaggio rurale circostante, progettati da personalità di rilievo nell'ambito del contesto urbanistico e architettonico dell'epoca.

A livello prettamente metodologico rispetto all'impiego delle suddette tecnologie informative, sono stati analizzati nello specifico tre casi esemplificativi tra i borghi della riforma e i *pueblos de colonización* (Fig. 4), frutto di differenti lavori di ricerca in ambito accademico, attraverso il rilievo delle architetture esistenti e lo sviluppo di modelli digitali di

tipo GIS ed HBIM (*Heritage/Historical Building Information Modeling*) per lo studio dei tessuti urbani e di alcune tipologie edilizie originarie<sup>4</sup>.

Il primo caso è relativo al borgo di Santa Maria d'Irsi in agro d'Irsina (MT, 1948-1951), del quale sono stati analizzati alcuni edifici collettivi del centro civico (la scuola e la chiesa) e le differenti tipologie a schiera ad uso abitativo destinate originariamente ai contadini. L'insediamento fu progettato da Nallo Mazzocchi Alemanni e da Enzo Calia, costituendo il primo intervento a carattere insediativo realizzato nel subcomprensorio della Media Valle del Bradano. Questo nucleo è composto da circa una trentina di abitazioni a schiera su due piani, ad uso abitativo e di servizio, poste all'interno del borgo mentre nella parte alta della collina, erano invece presenti le principali attrezzature pubbliche. A causa però del precoce fallimento del progetto di trasformazione fondiaria e del sovradimensionamento di diversi edifici previsti, il villaggio venne rapidamente abbandonato già a distanza di pochi anni [Bixio et al., 2015]. Solo tra il 2007 e il 2013, sono stati recuperati alcuni manufatti del centro civico e spazi ad uso pubblico, attualmente adibiti ad una comunità di recupero per tossicodipendenti.

Il borgo La Martella presso Matera (1951-1955) costituisce il primo villaggio agricolo realizzato dall'UNRRA-CASAS in collaborazione con l'Ente Riforma, a seguito dello sfollamento dei Sassi di Matera, su progetto degli architetti Ludovico Quaroni e Federico Gorgio assieme a Michele Valori, Luigi Agati e Piero Maria Lugli.

Questo insediamento rappresenta un importante esperimento compositivo nell'ottica di una rielaborazione delle unità di vicinato storiche dei Sassi [Talamona, 2001, pp. 190-197; Bilò et al., 2013]. Oltre alle aggregazioni residenziali dislocate lungo le strade di vicinato, vennero realizzati la chiesa, il centro civico e diversi servizi comunitari. Già però durante la fase di costruzione, le forti divergenze tra i due organismi promotori, unite ai cambiamenti socio-economici, portarono al non completamento e al progressivo semiabbandono del borgo. Solo negli ultimi

<sup>4</sup> I tre casi studio presentati in questo contributo sono stati analizzati rispettivamente in due tesi di laurea e di dottorato. Il primo è il prodotto della tesi magistrale di Michele Cosola, discussa presso l'Università degli Studi della Basilica (corso di laurea in Ingegneria Edile-Architettura; relatore: prof. Antonio Bixio, a. a. 2018-2019). Gli altri due esempi scelti sono stati approfonditi nella tesi di dottorato internazionale discussa da Raffaele Pontrandolfi nel corso di "Architettura: innovazione e patrimonio" presso l'Università degli Studi Roma Tre (XXXIV° ciclo, Dipartimento di Architettura, giugno 2023).



Fig. 3 - Viste d'insieme e di dettaglio degli attuali insediamenti di Cañada de Agra (in alto), Santa Maria d'Irsi (in basso a sinistra) e di La Martella (in basso a destra). (Foto degli autori, 2020-2022).



Fig. 4 - Viste panoramiche d'epoca dei villaggi Santa Maria d'Irsi (in alto), di La Martella (in basso a sinistra) e di Cañada de Agra (in basso a destra). (Fonti: Archivio Buonsanti e MUV Matera; Mediateca MAPA di Madrid).

decenni, sono stati effettuati alcuni interventi circoscritti di recupero dei principali edifici pubblici e delle aree verdi ad uso collettivo.

Per ultimo, il *pueblo* di Cañada de Agra (1962-1965), progettato nella provincia di Albacete (Castilla-La Mancha) da José Luis Fernández del Amo, è contraddistinto dallo stretto rapporto tra la topografia esistente e lo spazio costruito, mediante una rivisitazione delle tipologie edilizie tradizionali tipiche del luogo e una precisa suddivisione delle percorrenze viarie di accesso, rispettivamente, alle residenze e alle dipendenze agricole [Centellas, et al., 2020].

Anche in questo caso, lo spazio pubblico è suddiviso in diverse aree a ridosso dei principali edifici comunitari, integrate alle aree boschive preesistenti inserite all'interno del tessuto residenziale.

Rispetto ai due esempi italiani, questo insediamento ha mantenuto la sua valenza agricola e la sua fisionomia originaria nel corso dei decenni, venendo recentemente dichiarato bene storico da tutelare e da valorizzare (2015).

## DALLE FONTI ARCHIVISTICHE AL RILIEVO SULLE ARCHITETTURE ORIGINARIE

Con riferimento alle tre casistiche esaminate, si è partiti da una ricognizione e da uno studio preliminare delle principali fonti storiche, bibliografiche e documentali, consultando materiali talvolta inediti custoditi in alcuni archivi pubblici e privati sia in Italia che in Spagna<sup>5</sup>. Contestualmente, sono stati effettuati opportuni sopralluoghi ai tre borghi rurali oggetto di approfondimento, durante i quali si è proceduto ad eseguire rilievi specifici sul patrimonio urbanistico ed edilizio esistente, anche attraverso l'utilizzo della fotografia, con l'obiettivo di realizzare una comparazione con i progetti e le architetture originarie, in alcuni casi alterati o fatiscenti.

L'acquisizione dei dati è stata condotta sia attraverso l'impiego di metodologie tradizionali che attraverso l'uso della fotogrammetria, integrata al rilievo strumentale e al rilievo diretto sul patrimonio esistente, consentendo di approfondire aspetti geometrico-dimensionali ma anche di tipo materico, cromatico e strutturale. Le successive ricostruzioni digitali hanno consentito un confronto puntuale tra i progetti originari dei rispettivi borghi e quanto è stato effettivamente realizzato o modificato in corso d'opera (Fig. 5).

## ANALISI ALLA SCALA TERRITORIALE: IL DATABASE IN AMBIENTE GIS

In una seconda fase, sono stati trasferiti i dati previamente reperiti in un database di tipo GIS per una prima strutturazione delle informazioni in appositi strati tematici destinati all'organizzazione della conoscenza dei borghi esaminati.

Questo primo processamento e digitalizzazione delle informazioni ha consentito di effettuare innanzitutto delle analisi alla scala territoriale, ed in particolare sull'evoluzione tra paesaggio agrario e insediamento, anche attraverso il confronto con le ortofoto storiche e recenti dei rispettivi casi studio. Un'indagine più approfondita è stata svolta sul borgo La Martella, di cui sono stati sviluppati livelli tematici specifici relativi agli edifici originari (ad uso pubblico, residenziale e di servizio) e al loro grado di alterazione esistente. L'elaborazione di attributi specifici, vincolati alle informazioni selezionate, ha permesso una successiva elaborazione cartografica delle principali categorie di alterazione relative all'edilizia originaria e al grado di occupazione dei singoli lotti destinati originariamente agli orti delle famiglie contadine (Fig. 6). Infine, sono state realizzate interrogazioni mirate per ottenere primi risultati di tipo quantitativo e qualitativo sul grado di alterazione degli edifici e degli spazi di pertinenza pubblica e privata.

## IL MODELLO MULTISCALARE HBIM: DALLA SCALA URBANA ALLA SCALA ARCHITETTONICA

A partire dalle informazioni precedentemente catalogate e strutturate in un modello di tipo GIS, è stato predisposto un apposito database CDE (*Common Data Environment*) su una piattaforma HBIM per la definizione di un flusso di lavoro integrato, mediante la connessione (simultanea o separata) di differenti modelli digitali, ciascuno corrispondente ad un preciso livello d'indagine. Si è proceduto all'or-

<sup>5</sup>La documentazione storica reperita sui due casi italiani proviene dai seguenti archivi: Archivio di Stato di Bari (fondo ERSAP); Archivio di Stato di Matera (fondo del Genio Civile); Archivio ALSIA (Agenzia Lucana di Innovazione e Sviluppo Agricolo) di Potenza, Archivio fotografico Buonsanti di Matera. Relativamente al caso spagnolo, la maggior parte dei materiali documentali e fotografici è stata reperita presso il Servicio Histórico del COAM (fondo Fernández del Amo), l'Archivio e la Mediateca del MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación) di Madrid.



Fig. 5 - Tavole tematiche sul rilievo delle tipologie edilizie ad uso residenziale e di servizio nei borghi rurali di Santa Maria d'Irsi (a sinistra), di La Martella (a destra). (Elaborazione degli autori).

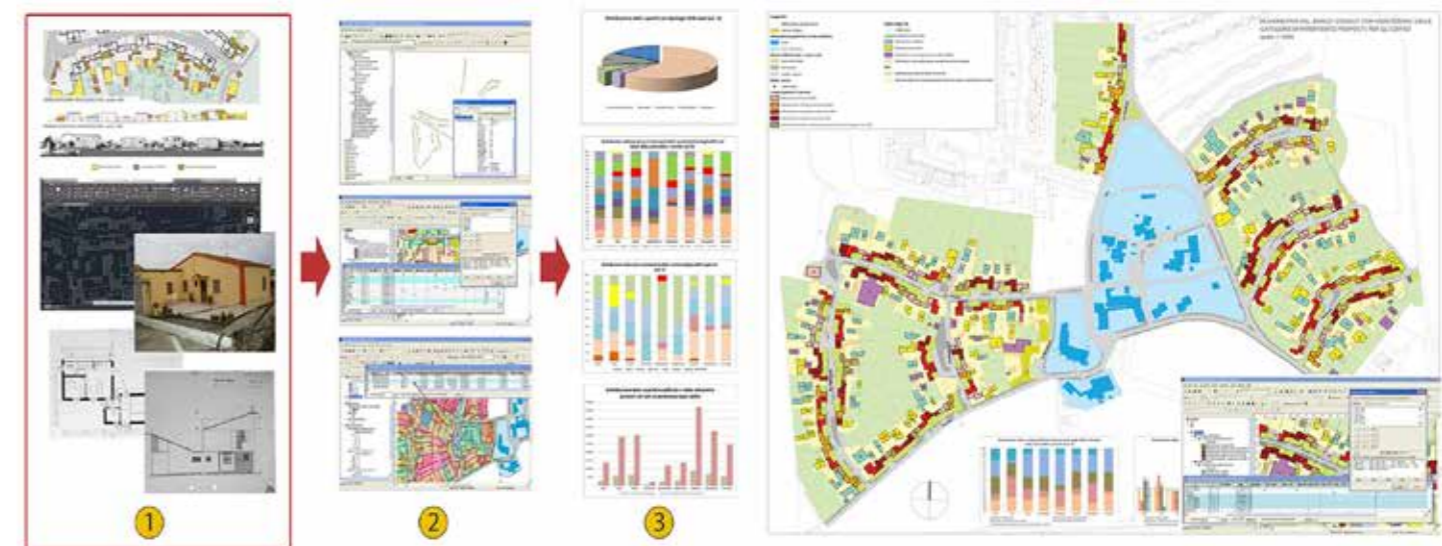


Fig. 6 - Schema delle principali fasi dello sviluppo dei dati e delle informazioni reperite e processate in ambiente GIS con l'elaborazione di interrogazioni sull'edilizia esistente nel Borgo La Martella. (Elaborazione degli autori).

ganizzazione di una struttura gerarchica secondo precisi strati semantici, ognuno definito da un differente grado di sviluppo dei modelli parametrici e delle informazioni attraverso i LOD (*Level Of Development*). Tutti questi sotto-modelli sono stati gestiti mediante l'impiego di regole interne e di coordinate condivise in un archivio di riferimento attraverso il quale connettere e visualizzare i differenti livelli di definizione dei complessi urbani o dei singoli edifici [Gigliarelli et al. 2019; Pontrandolfi et al., 2020]. Per ciascun modello sono state predisposte biblioteche speciali di oggetti parametrici (le 'famiglie') in una successione gerarchica (di 'tipo' e di 'istanza'), finalizzata alla descrizione semantica e geometrica dei principali elementi del lessico architettonico. Nel corso di questa ricerca, sono stati elaborati, solamente a livello sperimentale, i modelli relativi ad alcune tipologie abitative con annessi agricoli dei villaggi di La Martella e Cañada de Agra (Fig. 7).

Tale sistema di gestione degli apparati digitali è stato quindi predisposto secondo una precisa metodologia di 'disarticolazione architettonica' e 'ricostruzione digitale', in riferimento alle vigenti normative a livello italiano ed europeo sulla digitalizzazione.<sup>6</sup>

Il primo livello d'informazione generale (livello 0, LOD A) corrisponde ad una scala d'indagine a livello territoriale mediante l'elaborazione di un database georeferenziato a cui connettere i diversi sotto-modelli sviluppati. Il secondo ambito della gerarchia (livello 1, LOD B) è riferito all'intero insediamento (scala 'macrourbana'), modellato secondo lo strumento delle masse concettuali senza una specifica definizione geometrica, a cui collegare i metadati relativi alle informazioni reperite rispetto all'evoluzione storica o allo stato di conservazione del patrimonio esistente. Al terzo livello del sistema (livello 2, LOD C) corrisponde, invece, l'ambito delle aggregazioni edilizie (scala 'microurbana'), attraverso l'introduzione dei principali elementi parametrici di base che definiscono le tipologie presenti. L'ultimo livello previsto (livello 3, LOD D) è relativo al singolo manufatto edilizio (scala 'architettónica'), definito mediante lo sviluppo e l'implementazione delle componenti parametriche precedentemente introdotte.

## CONCLUSIONI. RISULTATI RAGGIUNTI E POSSIBILI SVILUPPI DELLA RICERCA

In questo contributo si è cercato di evidenziare l'importanza della sistematizzazione e diffusione della conoscenza riferita al patrimonio urbanistico e architettonico della colonizzazione rurale italiana e spagnola, attraverso la proposta di metodologie e approcci integrati per sviluppare analisi comparative su alcuni esempi paradigmatici presenti in entrambi i contesti esaminati.

Tali presupposti sono stati raggiunti anche mediante l'impiego di tecnologie e piattaforme digitali attraverso cui strutturare indagini specifiche secondo un processo di tipo multiscalare (Fig. 8). Trattandosi in questo caso di differenti lavori accademici, l'utilizzo di entrambe le tecnologie è avvenuto in via sperimentale, soprattutto a livello metodologico: l'interconnessione tra i modelli GIS e BIM è stata infatti sviluppata con modalità e tempistiche differenti anche in relazione alle diverse finalità e scale di approfondimento indagate, frutto di un lavoro ancora in corso di completamento.

Tuttavia, l'utilizzo di questi strumenti informativi ha rilevato anche alcuni limiti operativi, soprattutto se riferiti a complessi insediativi intrinsecamente relazionati al territorio circostante. Rispetto a questa considerazione, appare auspicabile una maggiore integrazione tra i due sistemi GIS ed HBIM, ai fini di una migliore interoperabilità tra le rispettive piattaforme, attualmente ancora in fase di sperimentazione [Barazzetti et al., 2017; Vacca et al., 2018; Matrone et al., 2019].

Si prevedono quindi ulteriori sviluppi futuri di ricerca nell'interconnessione tra le due tecnologie anche attraverso l'impiego di piattaforme interscalari (ad esempio Autodesk InfraWorks) che permetterebbero una più efficace strutturazione delle informazioni processate.

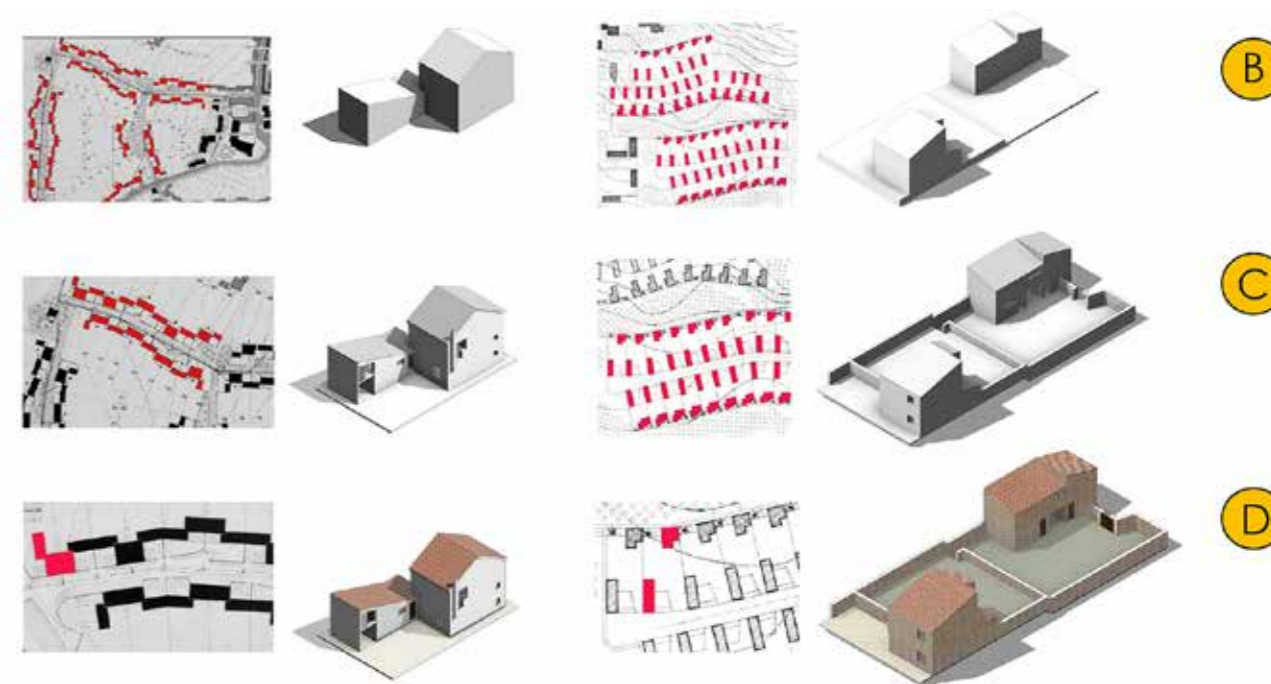


Fig. 7 - Analisi multiscalari sul patrimonio originario dei borghi La Martella e Cañada de Agra: modelli di due tipologie edilizie alla scala insediativa (macrourbana, B), di vicinato (microurbana, C) ed edilizia (architettónica, D). (Elaborazione grafica degli autori).

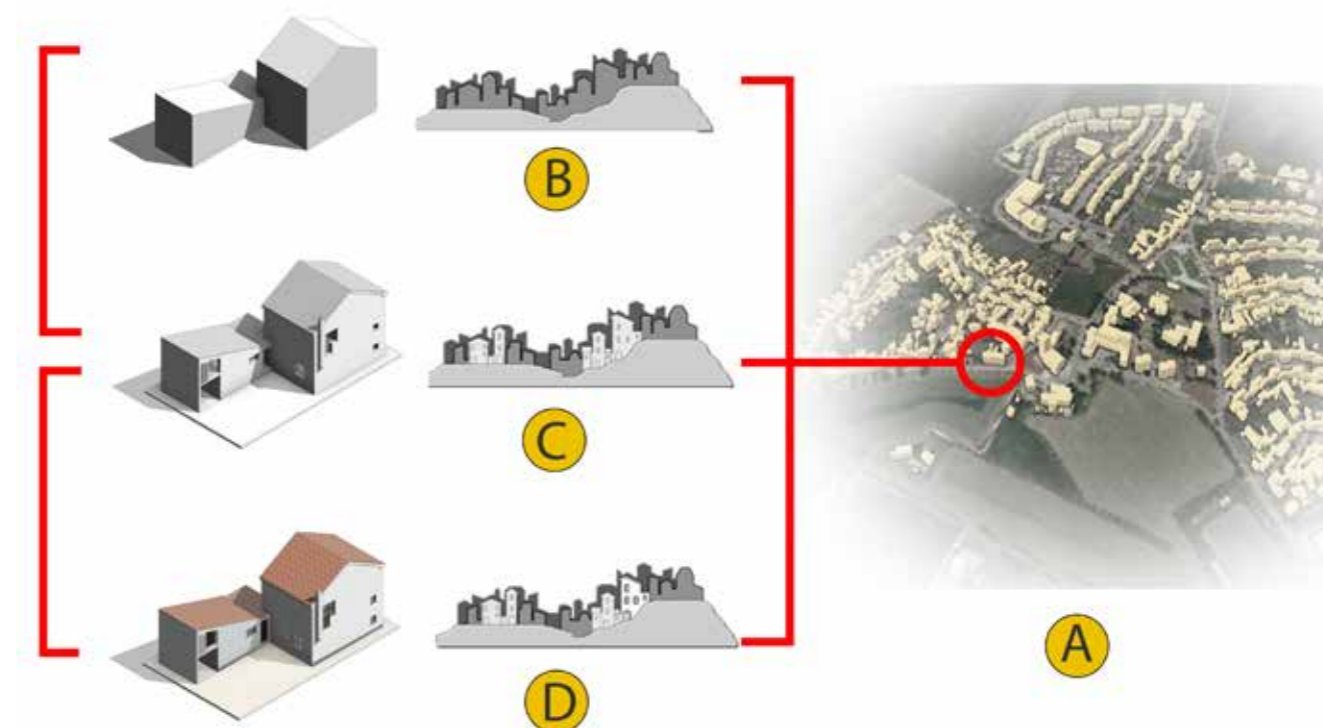


Fig. 8 - Il sistema informativo multiscalare HBIM alla base del processo di gestione digitale proposto per il borgo rurale La Martella: dalla scala territoriale (A) alla scala edilizia (D). (Elaborazione grafica degli autori).

<sup>6</sup> In riferimento a quanto riportato dalle Norme UNI 8290 (1981-1983) sulla *Classificazione e scomposizione del sistema edilizio* e dalla UNI 11337 (2017) sulla *Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni*.

## BIBLIOGRAFIA

Álvaro Tordesillas, A., Bixio, A., & Barba, S. (2010). Nuevos pueblos de colonización en España e Italia. Relaciones y referencias. In C. Gambardella (Ed.). *Le Vie dei Mercanti. Rappresentare la Conoscenza*. Atti del VII International Forum "Le Vie dei Mercanti", Pompei-Capri, 4-6 giugno 2009, vol. 8, pp. 901-905. Napoli: La Scuola di Pitagora editrice.

Álvaro Tordesillas, A. (2013). Pueblos de colonización españoles y borghi di bonifica italiani [Spanish colonization villages and borghi di bonifica italiana]. In A. Conte & M. Filippa (Eds.). *Patrimonio e siti Unesco. Memoria, Misura e Armonia*. Atti del 35° Convegno Internazionale dei docenti della Rappresentazione. Decimo Congresso UID, Matera 24-26 ottobre 2013, pp. 943-954. Roma: Gangemi Editore.

Barazzetti, L., & Banfi, F. (2017). BIM and GIS: when parametric modeling meets geospatial data. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV (5/W1), 1-8. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-5-W1-1-2017>

Basiricò, T. (2018). *Progetti e costruzioni per la colonizzazione agraria del '900. Italia Spagna Portogallo*. Roma: Aracne editore.

Bilò, F., & Vadini, E. (a cura di). (2013). *Matera e Adriano Olivetti*. Roma: Fondazione Adriano Olivetti.

Bixio, A., Verrastro, D., & Damone, G. (2015). Urbansettlements, rural architectures and conversion of the landscapes of Basilicata during Land Reform. Documentary research and knowledge about the restoration of the village of Santa Maria d'Irsi. In R. Amoêda, S. Lira, & C. Pinheiro (Eds.). *REHAB 2015*. Proceedings of the 2nd International Conference on Preservation, Maintenance and Rehabilitation of Historical Buildings and Structures, Porto, 22-24 luglio 2015, vol. 1, pp. 19-27. Barcelos (Portugal): Green Lines Institute for Sustainable Development.

Bravo Bernal, A. M., & Castellano Román, M. (2010). Pueblos de colonización: dibujo y patrimonio [Colonization villages: drawing and heritage]. In N. J. Vázquez Carretero, P. Durand Neyra, & E. De Justo Moscardó (Eds.). *Seminario de Innovación e Investigación Docente y Nuevas Metodologías Docentes*, pp. 31-39 e 141-149. Sevilla: Subdirección de Investigación, ETSA Universidad de Sevilla.

Calzada Pérez, M. (2006). *La colonización interior en la España del siglo XX agrónomos y arquitectos en la modernización del medio rural*. Unpublished doctoral dissertation, Universidad de

Sevilla, Spain. idUS Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/15230>

Centellas Soler, M. (2010). Los pueblos de colonización de la administración franquista en la España rural. P+C: *Proyecto y Ciudad*, n. 1, pp. 109-126. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Chiabrando, F., Sammartano, G., Spanò, A. T. (2016). Historical Building Models and their handling via 3D survey: from points clouds to user-oriented HBIM. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, XL(B5), 633-640. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-633-2016>

Conte, A. (a cura di). (2007). *Borghi rurali e nuclei urbani di fondazione: disegno, rilievo e documentazione dei sistemi architettonici del primo Novecento*. Potenza: Editrice Ermes.

Cordero Ampuero, A., & Gutiérrez Mozo, M. E. (2020). Cañada de Agra, componer con la topografía y el paisaje. *VLC arquitectura*, 7 (1), 123-143. <https://doi.org/10.4995/vlc.2020.10991>

Dore, C., & Murphy, M. (2012). Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites. In *18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Milan, Italy, 2-5 September*, 369-376. <https://doi.org/10.21427/e7sy-rt81>

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2016). *Il BIM: guida completa al Building Information Modeling* (G. M. Di Giuda, V. Villa, trad. it.). Milano: Hoepli. (Opera originale pubblicata 2008).

Gigliarelli, E., Pontrandolfi, R., & Calcerano, F. (2019). Heritage-BIM: The integrated management of the historical centres, the case study of Ardena. In E. Mussinelli, M. Lauria, F. Tucci (Eds.). *La PROduzione del PROgetto*. International SITdA Conference, Reggio Calabria, 14-15 giugno 2018, pp. 279-286. Santarcangelo di Romagna (RN): Maggioli Editore.

Matrone, F., Colucci, E., De Ruvo, V., Lingua, A., & Spanò, A. (2019). HBIM in a semantic 3D GIS database. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, XLII (2/W11), 857-865. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-857-2019>

Misiani, S., & Gómez Benito, C. (Eds.). (2017). Construyendo la nación: *Reforma agraria y modernización rural en la Italia del siglo XX*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.

Monclús Fraga, F. J., & Oyón Bañales, J. L. (1988). *Historia y evolución de la colonización agraria en España Vol. I*. Políticas y técnicas de en la ordenación del espacio rural. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ministerio de Obras públicas y Urbanismo, Instituto de Estudios de Administración Local.

Pérez Escolano, V., & Calzada Pérez, M. (Eds.). (2008). *Pueblos de colonización durante el Franquismo: la arquitectura en la modernización del territorio rural*. Sevilla: Junta de Andalucía, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

Pontrandolfi, R., Castellano Román, M., & Moya Muñoz, J. (2020). Metodologie HBIM per l'analisi conoscitiva del patrimonio residenziale moderno nei borghi della riforma agraria in Italia e Spagna. La Martella a Matera e Cañada de Agra (Albacete). In G. Minutoli (a cura di), *Simposio internazionale REUSO 2020. Restauro: temi contemporanei per un confronto dialettico*, pp. 346-355. Firenze: Didacommunicationlab (Università degli Studi di Firenze).

Pontrandolfi, R., & Raguso, A. (2022). *Architettura rurale e Novecento. I borghi di Matera nel contesto italiano e internazionale*. Matera: Edizioni Magister.

Pontrandolfi, R. (2023). *Rileggere il patrimonio insediativo rurale del secondo Dopoguerra. Borghi della Riforma Agraria e pueblos de colonización: esempi di valore storico-testimoniale a confronto in Italia e in Spagna (1950-1960)*. Unpublished doctoral dissertation, Università degli Studi Roma Tre, Italia.

Talamona, M. (2001). Dieci anni di politica dell'Unra Casa: dalle case ai senzatetto ai borghi rurali nel Mezzogiorno d'Italia (1945-1955): il ruolo di Adriano Olivetti. In C. Olmo (a cura di). *In Costruire la città dell'uomo. Adriano Olivetti e l'urbanistica*, pp. 173-204. Torino: Edizioni di Comunità.

Vacca, G., Quaquero, E., Pili, D., & Brandolini, M. (2018). GIS-HBIM integration for the management of historical buildings. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, XLII (2), 1129-1135. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-1129-2018>

Villanueva Paredes, A., & Leal Maldonado, J. (1991). Historia y evolución de la colonización agraria en España Vol. III. *La planificación del regadío y los pueblos de colonización*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Ministerio de Obras públicas y Urbanismo, Instituto Nacional de Administración Pública.

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Models (BIM) for existing buildings – literature review and future needs. In *Automation in Construction*, 38, 109-127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>

# PARAMETRIZZAZIONE E HBIM NELLA CONSERVAZIONE DELL'ARCHITETTURA MODERNA BRASILIANA

## PARAMETRIZATION AND HBIM IN THE CONSERVATION OF BRAZILIAN MODERN ARCHITECTURE

### AUTHOR

Silvana da Rocha Rodrigues<sup>1</sup>, Patrícia Nunes da Silva<sup>1</sup>, Tommaso Empler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Computacionais e Modelagem Matemática, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

<sup>2</sup>Faculty of Architecture, Department of History, Representation and Restoration of Architecture, Sapienza University of Rome

### EMAIL

rodrigues.silvana@posgraduacao.uerj.br;

nunes@ime.uerj.br;

tommaso.empler@uniroma1.it

## KEYWORDS

ARCHITETTURA MODERNA  
GRAMMATICA DELLA FORMA  
TRACCIATI REGOLATORI  
PARAMETRIZZAZIONE  
HBIM

## ABSTRACT

Questo articolo esplora l'integrazione della parametrizzazione e dell'HBIM (Heritage Building Information Modeling) nella conservazione dell'architettura moderna brasiliana. Attraverso l'analisi matematica degli edifici modernisti e la creazione di algoritmi basati sulla grammatica della forma, si propone la generazione di elementi parametrizzati. Questo metodo mira a garantire la documentazione e la conservazione precise del patrimonio architettonico, utilizzando tecnologie avanzate e la creazione di codici derivati da questa analisi.

*This article explores the integration of parametrization and HBIM (Heritage Building Information Modeling) in the conservation of Brazilian modern architecture. Through the mathematical analysis of modernist buildings and the creation of algorithms based on the grammar of form, it proposes the generation of parametrized elements. This method aims to ensure precise documentation and conservation of architectural heritage, utilizing advanced technologies and the creation of codes derived from this analysis.*

## INTRODUZIONE

Durante il Governo Vargas, c'era la preoccupazione che il Brasile riflettesse l'immagine di un paese in via di sviluppo. Il presidente voleva un'identità nazionale prospera e moderna. In un primo momento, l'architettura moderna incontrò resistenza, principalmente da parte degli architetti tradizionali, che vedevano in altri stili l'architettura genuinamente brasiliana. Fu necessario che figure come il Ministro Gustavo Capanema credessero che la "nuova architettura" proveniente dalla Scuola Bauhaus e sostenuta anche dall'architetto francese Le Corbusier, potesse dare al Brasile l'aria di modernità tanto desiderata dal presidente.

In Brasile, l'architettura moderna ha adattato soluzioni al clima tropicale [Canuto et al., 2020]. Tale "differenza" ha reso l'architettura moderna un simbolo dell'architettura brasiliana. Molti architetti hanno ottenuto riconoscimenti mondiali, con Oscar Niemeyer come il nome più celebrato, ma ce ne sono stati molti altri. Lucio Costa, ad esempio, è stato uno dei responsabili della diffusione degli insegnamenti dell'architettura moderna in Brasile, soprattutto quando era a capo della Scuola Nazionale di Belle Arti.

Il lascito modernista è diffuso in Brasile, ma non sempre valorizzato. Si celebrano Brasilia, Pampulha, il Museo d'Arte di San Paolo e si abbandonano tanti altri, come ad esempio la Scuola Superiore di Guerra, il Gávea Tourist Hotel e gli edifici della Città Universitaria dell'Università Federale di Rio de Janeiro [Cabral, 2019]. Allora, in che modo i ricercatori possono contribuire alla conservazione dell'architettura moderna brasiliana? Dato che l'architettura moderna è nata dalla percezione che le nuove tecnologie debbano essere viste come uno strumento importante nella concezione dei progetti, i progressi tecnologici possono aiutare nella sua conservazione?

## GRAMMATICA DELLA FORMA

L'architettura moderna possiede una serie di elementi che la differenziano da altri stili architettonici. I "cinque punti di una nuova architettura", descritti da Le Corbusier, sono verificati attraverso una lettura delle soluzioni progettuali.

È evidente che non tutti gli edifici che possiedono pilotis possono essere descritti come moderni, ci sono una serie di fattori che li classificano come appartenenti a questo stile. Tuttavia, i cinque punti

sono, nella maggior parte dei casi, facilmente visibili nella costruzione. Altre caratteristiche, come ad esempio l'uso di tracciati regolatori, richiedono uno studio più approfondito del progetto.

Nel 1972, James Gips e George Stiny scrissero un articolo proponendo una grammatica della forma che descrive la generazione di forme usando una formulazione basata su regole [Gips, 1975]. In questo modo, una grammatica della forma è definita come una tupla di 4:  $SG = \langle V_t, V_m, R, I \rangle$ , dove:

1.  $V_t$  è un insieme finito di forme;
2.  $V_m$  è un insieme finito di forme tali che  $V_t \cap V_m = \emptyset$ ;
3.  $R$  è un insieme finito di coppie ordinate  $(u, v)$  tali che  $u$  è una forma che consiste in un elemento  $V_t^*$  combinato con un elemento di  $V_m$  e  $v$  è una forma che consiste in un elemento di  $V_t^*$  combinato con un elemento di  $V_m^*$ ;
4.  $I$  è una forma che consiste in un elemento di  $V_t^*$  combinato con un elemento di  $V_m^*$ .

Con questa definizione, è possibile percepire che Gips e Stiny utilizzano concetti della Teoria degli Insiemi per spiegare la grammatica della forma, ed è ancora necessario aggiungere che:

1. L'insieme  $V_t$  è composto da elementi di forma terminale, o terminali;
2. L'insieme  $V_m$  è composto da elementi di forma non terminali, o marcatori;
3. Gli  $V_t$  e  $V_m$  sono disgiunti
4. Gli elementi dell'insieme  $V^+$  sono formati dalla combinazione finita di uno o più elementi di  $V_t$  in cui qualsiasi elemento e/o le sue immagini speculari possono essere utilizzati in un numero multiplo di volte in qualsiasi posizione, orientamento o scala;
5. L'insieme  $V_t^* = V_t^+ \cup \{C\}$ , dove  $C$  è la forma vuota;
6. Gli insiemi  $V_m^+$  e  $V_m^*$  sono definiti in modo analogo;
7. Gli elementi  $(u, v)$  di  $R$  sono chiamati regole della forma e sono scritti come  $u \rightarrow v$ , dove  $u$  è chiamato lato sinistro della regola e  $v$  lato destro della regola. Generalmente  $u$  e  $v$  sono posti in rettangoli tratteggiati identici per mostrare la corrispondenza tra di loro;
8.  $I$  è chiamata forma iniziale e normalmente è formata da un elemento  $u$ , tale che esiste un  $(u, v)$  che è un elemento di  $R$ .

In modo semplificato, Haakonsen et al. (2023)

descrivono le definizioni di Gips e Stiny in quattro componenti: (i) un insieme finito di forme; (ii) un insieme finito di simboli; (iii) un insieme finito di regole e (iv) una forma iniziale. Queste regole sono applicate in modo ricorsivo, consentendo una grande varietà di forme. Uno degli esempi dell'applicazione della grammatica della forma descritta da Gips (1975), può essere visto nella Figura 1.

In questa grammatica della forma, l'elemento iniziale è un quadrato con un piccolo cerchio nella parte superiore sinistra, che è il marcatore.

Applicando la regola 1, il quadrato è suddiviso in quattro quadrati e il marcatore è spostato con una rotazione di 90° in senso orario.

La **regola 1** può essere applicata diverse volte, risultando sempre nella suddivisione del quadrato che contiene il marcatore e nella sua rotazione. Per concludere è necessario applicare la **regola 2**, che rimuove il marcatore e le suddivisioni del quadrato attuale.

Dopo l'applicazione della regola 2 non è possibile riprendere il processo poiché non ci sono più forme su cui applicare le regole.

Per Gips (1975), la grammatica della forma può essere utilizzata per generare o analizzare forme.

Riguardo al suo uso come strumento di analisi, permette l'analisi di forme complesse che forse non erano state percepite.

Gips (1999) ha sollevato diverse questioni sull'uso computazionale della grammatica della forma e ha descritto quattro programmi per la sua applicazione:

1. un programma per la generazione della grammatica della forma;
2. un programma di analisi della grammatica della forma;
3. un programma per l'inferenza grammaticale
4. un programma CAD per le grammatiche della forma. Quest'ultimo sarebbe responsabile di assistere l'utente nella generazione di grammatiche della forma, attraverso strumenti sofisticati.

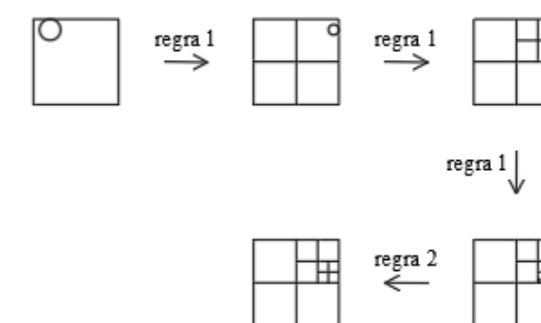
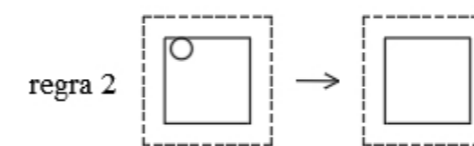
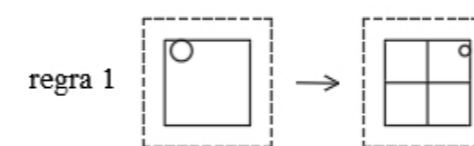
Per Gips [1999, p.2], "la svolta di questo tipo di programma sarebbe un plug-in di grammatica della forma per un programma CAD tradizionale che utilizzerebbe le grammatiche della forma per aiutare il designer praticante". Riguardo alla richiesta di Gips, Ulrich Flemming scrisse:

" Spero ancora che qualcuno trovi una implementazione robusta di un interprete di grammatica della forma parametrizzata. (...) Ha bisogno di una solida base formale (...) e di una GUI molto buona che permetta la definizione grafica di regole di forma parametrizzate (una proposta complicata, ma intrigante)." (GIPS, 1999, p. 4)

$SG1 = \langle V_t, V_m, R, I \rangle$

$V_t = \{ \square \}$   
 $V_m = \{ \circ \}$

$R$  contém



Logo a linguagem definida por  $SG1$  é:

$L(SG1) = \{ \square, \begin{smallmatrix} \square & \square \\ \square & \square \end{smallmatrix}, \begin{smallmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{smallmatrix}, \begin{smallmatrix} \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square \end{smallmatrix}, \dots \}$

Fig. 1 - Esempio di Grammatica della Forma. Fonte: Acervo do autor, adattato da GIPS, 1975

La parametrizzazione attesa da Flemming è diventata possibile attualmente attraverso sistemi computazionali, in particolare il BIM (Building Information Modeling). Le regole di parametrizzazione degli elementi possono essere incorporate nei modelli attraverso algoritmi.

## ANALISI MATEMATICA DELL'ARCHITETTURA MODERNA

I primi computer hanno portato precisione e rapidità nell'esecuzione di diverse attività e con l'architettura non è stato diverso. I primi software CAD (Computer Aided Design) hanno permesso di progettare in modo più pratico, accelerando le fasi di progettazione. I software di modellazione 3D hanno consentito di rappresentare forme più complesse e l'animazione ha permesso all'architetto di offrire al cliente un tour virtuale dell'opera prima della sua realizzazione. Nuovi sistemi continuano a emergere e attualmente il BIM sta occupando lo spazio precedentemente dominato dal CAD.

Diversamente dal sistema CAD, che può essere considerato un tavolo da disegno elettronico, il BIM mira a costruire virtualmente l'edificio, facendo parte di tutto il suo ciclo di vita [Tolentino, 2018]. Il sistema BIM consente che mentre il progetto è "disegnato", tutta la documentazione venga generata aggregando tutte le informazioni del progetto. Questo sistema è stato adattato per edifici storici. L'HBIM (Heritage Building Information Modeling) è una metodologia che utilizza il BIM nella conservazione del Patrimonio Architettonico e viene ampiamente ricercata in diverse università del mondo.

Il problema a cui questo articolo cerca di trovare una soluzione è legato alla conservazione dell'architettura moderna brasiliana. La conservazione della memoria di questo stile è stata tema di discussione, come, ad esempio, nella tesi di Oksman (2017) che discute come trattare le questioni legate alla conservazione della memoria di questi beni quando i loro "eredi" intervengono ancora nelle decisioni. Altre ricerche discutono il contributo computazionale alla conservazione del Patrimonio Architettonico, come, ad esempio, la tesi di Tolentino (2018), che discute l'uso della metodologia HBIM nella documentazione di una chiesa del XVIII secolo o la dissertazione di Canuto (2017) che tratta della memoria del Palazzo Gustavo Capanema, icona dell'architettura moderna brasiliana, utilizzando anche l'HBIM.

Fino a questo momento, le ricerche consultate che utilizzano l'HBIM, trattano questo argomento come un utente del sistema BIM. Anche le ricerche che creano librerie parametrizzate, come ad esempio l'articolo di Simeone, Stefano e Acierno (2019), non presentano come gli elementi che compongono la libreria sono stati creati, generando una lacuna per quanto riguarda le soluzioni di carattere computazionale.

L'architettura moderna possiede nella sua teoria regole che sono intimamente legate alla matematica, che a sua volta è responsabile della loro codifica per il linguaggio computazionale. Uno dei capitoli del libro "Por uma arquitetura" [Corbusier, 2002] è dedicato ai tracciati regolatori. In esso, Le Corbusier discute il rapporto dell'uomo primitivo con la capanna e come quest'ultimo usava mezzi primitivi per costruirla. La pianta della capanna è regolata da matematica semplice e misurata sul corpo umano. Decidendo la pianta della capanna, l'uomo primitivo si appropriò di ciò che conosceva, preferendo l'uso di angoli retti e forme geometriche pure, come il rettangolo e il cerchio.

Per Le Corbusier, la "Geometria è il linguaggio dell'uomo", e lui, come profondo conoscitore delle regole che regolano la geometria, le usò nei suoi progetti.

Blömker (2017, p. 47) definisce i tracciati regolatori come "un sistema di proporzionalità basato su relazioni geometriche fondate sulla sezione aurea". Il suo obiettivo è ordinare la composizione architettonica a partire da tratti geometrici, che regoleranno la dimensione e la disposizione delle parti tra loro e con il tutto.

Il sistema creato dai tracciati regolatori genera una griglia immaginaria che determina la posizione e la dimensione delle linee, piani e volumi che formano il progetto. Per Le Corbusier, il tracciato regolatore crea un controllo geometrico, mantenendo l'ordine della composizione attraverso i modelli stabiliti. Questa composizione, secondo l'architetto, garantisce l'armonia e la bellezza dell'opera.

È importante sottolineare che il tracciato regolatore deve essere usato come uno strumento nella composizione del progetto, non deve limitare la creatività dell'architetto.

Nella sua dissertazione, Blömker (2017) analizza la Villa Savoye presentando una serie di "regole matematiche" utilizzate da Le Corbusier nella

concezione del suo progetto. Secondo Blömker (2017), nonostante la Villa Savoye possieda un modulo quadrato, la sua pianta è rettangolare, avendo nelle facciate principale e posteriore un modulo rettangolare di 4,75x1,19m (Fig. 2).

Il lato minore di questo modulo rettangolare equivale a circa 1/4 del lato del modulo principale, mostrando ancora una volta l'importanza che Le Corbusier dava al rispetto dei modelli.

La Fig. 3 presenta un esempio di come questa regola possa essere tradotta secondo i principi della grammatica della forma, generando rettangoli nella stessa proporzione della Villa Savoye. La regola 1 è usata per iniziare la generazione dei rettangoli con la proporzione della Villa Savoye ma utilizzando solo un modulo di 4,75m. Come marcatore, questa regola

ha una linea più forte sul bordo sinistro e inferiore del rettangolo. La regola 2 inserisce uno strato di quadrati e rettangoli nella stessa posizione del marcatore generando così un altro rettangolo con le proporzioni della Villa Savoye. La quantità di moduli di questo nuovo rettangolo dipenderà dalla quantità di volte che la regola 2 è stata utilizzata. La regola 3 ha come obiettivo finalizzare il processo, creando un rettangolo senza le suddivisioni dei moduli e rimuovendo il marcatore. Una volta utilizzata, diventa impossibile generare nuovi rettangoli. Il set L(SG1) presentato alla fine, possiede, con l'eccezione del primo elemento, rettangoli con la stessa proporzione della pianta della Villa Savoye. La grammatica della forma, come sostenuto da Gips (1975), può essere utilizzata nello sviluppo di algoritmi che generano

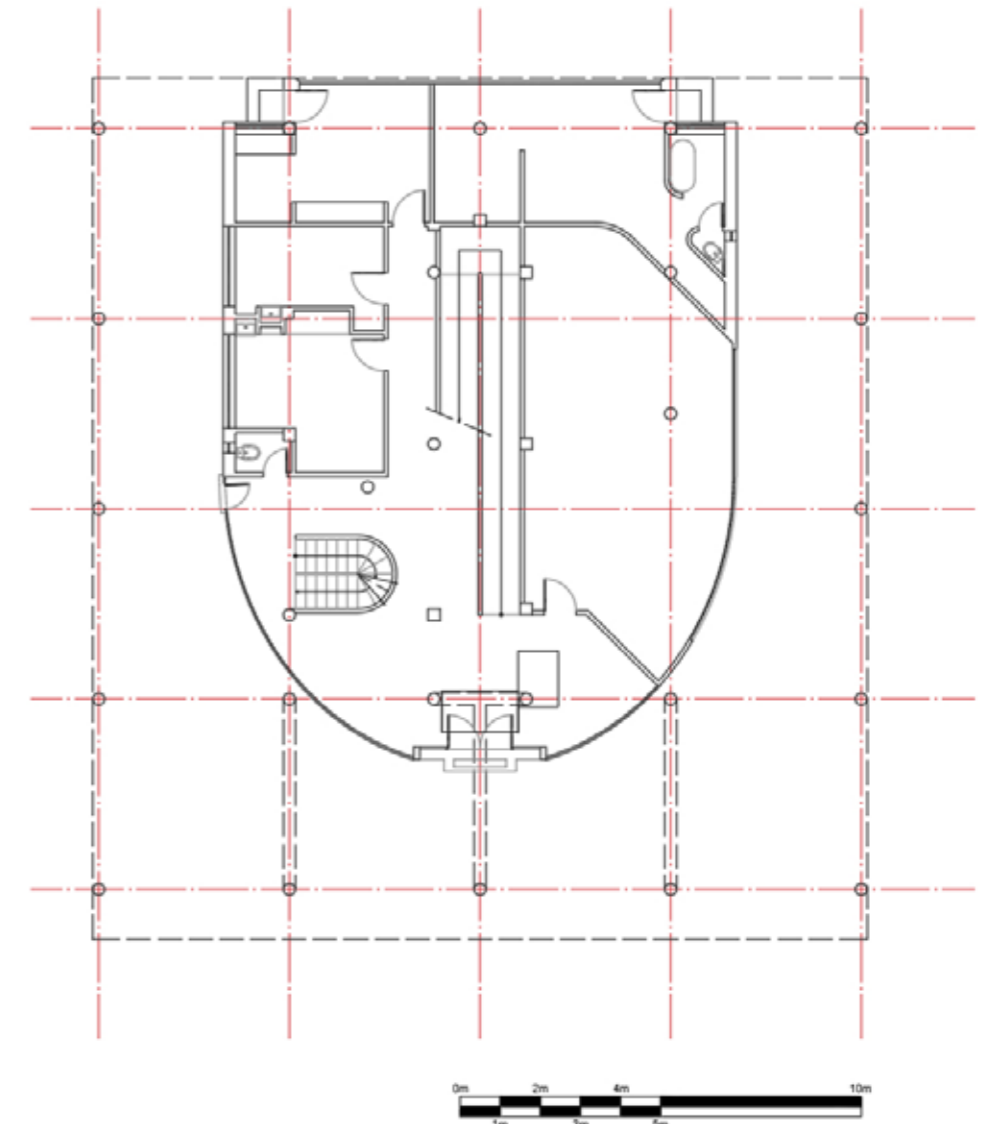


Fig. 2 - Moduli della Villa Savoye, Pianta Bassa Piano Terra. Fonte: Acervo do autor - adattato da Blömker (2017).

parametrazioni di elementi BIM, ad esempio. L'algoritmo **Dim\_PB** si basa sulla grammatica della forma della Fig. 3 e ha come obiettivo generare una pianta con la stessa proporzione della Villa Savoye. In questo algoritmo l'utente inserisce il numero di moduli ( $k$ ) che desidera nella sua pianta. Nella linea 3 viene calcolata la radice di  $k$ , che sarà la quantità di moduli della larghezza della pianta ( $n$ ), questo deve essere un valore intero. Se  $n$  è un numero intero viene creata una lastra con le proporzioni della Villa Savoye (linee 4-8). Se l'utente ha inserito un numero di moduli la cui radice non è un numero intero, ad esempio  $k=15$ , l'algoritmo fa una correzione usando il valore intero di  $n$  (linee 9-16) garantendo così che la pianta abbia moduli di 4,75m.

L'algoritmo presentato è solo un esempio di come l'analisi matematica degli edifici possa essere programmabile, consentendo così la creazione di elementi parametrizzati. Essendo l'architettura moderna ricca di regole, analizzare le sue forme e successivamente creare librerie parametrizzate che identificano un architetto o semplicemente le soluzioni utilizzate in un edificio moderno possono contribuire alla sua divulgazione e conseguentemente alla sua conservazione.

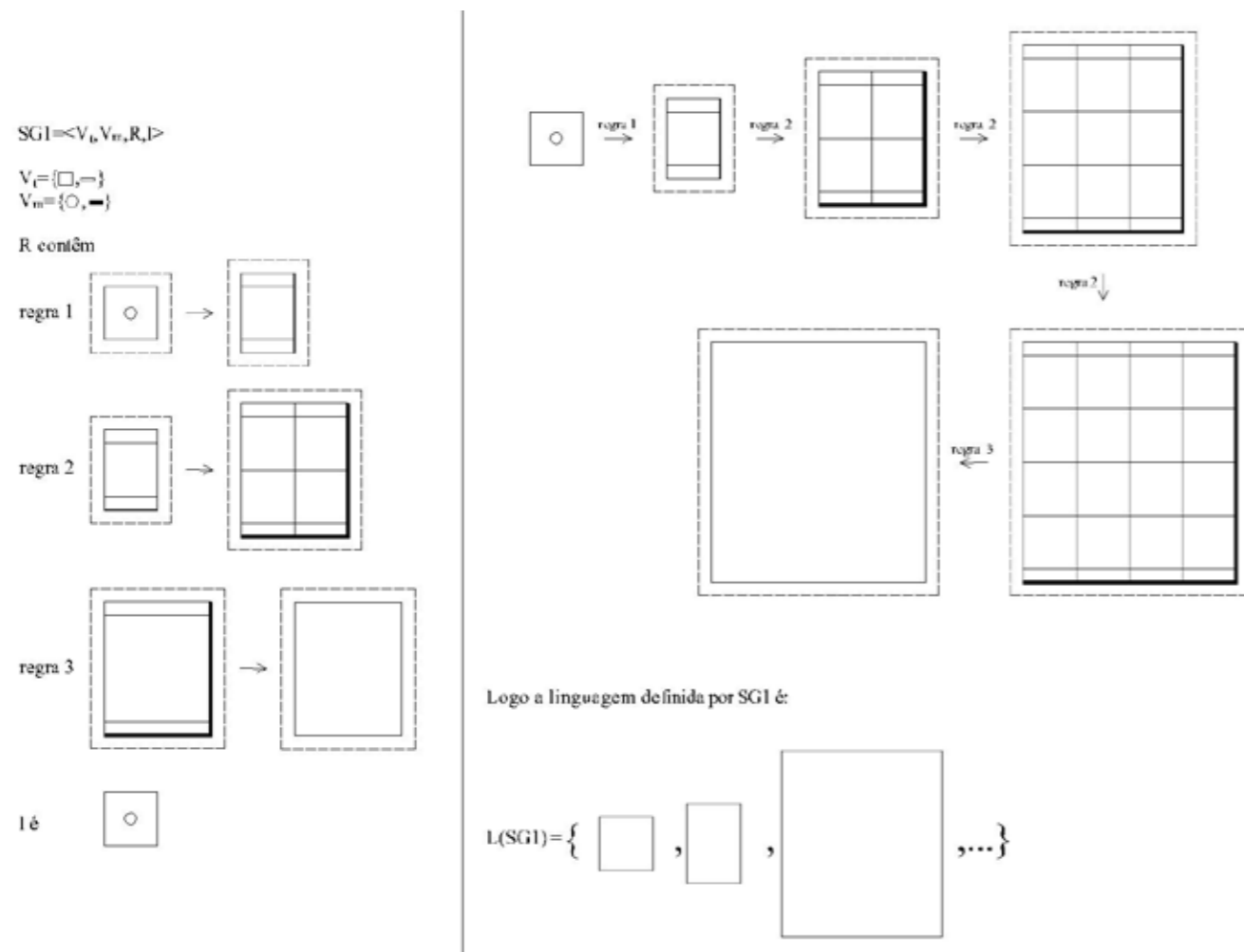


Fig. 3 - Grammatica della forma della generazione della pianta della Villa Savoye. Fonte: Acervo do autor, 2024.

---

**Variabili:**  $k$ : numero di moduli (int)  
 $n$ : fattore proporzionale (float)  
 $L$ : larghezza del piano (float)  
 $P$ : profondità della pianta (float)  
 $m$ : dimensione del modulo (float)  
 $k'$ : corretto numero di moduli (int)  
 $n'$ : fattore proporzionale corretto (int)

---

```

1  Start
2   $m \leftarrow$  dimensione del modulo;
3   $n \leftarrow$  numero di moduli;
4   $n \leftarrow \sqrt{k}$ ;
5  If ( $n$  intero) then:
6     $L \leftarrow m \cdot n$ ;
7     $P \leftarrow m \cdot (n + \frac{1}{2})$ ;
8    Inserire piso di  $L \times P$ ;
9    Uscire;
10 If not:
11   $n' \leftarrow \lfloor n \rfloor$ ;
12   $k' \leftarrow (n')^2$ ;
13   $L \leftarrow m \cdot n'$ ;
14   $P \leftarrow m \cdot (n' + \frac{1}{2})$ ;
15  Inserire piso di  $L \times P$ ;
16  Scrivere: "Per mantenere le proporzioni di Villa Savoye, il numero dei moduli è stato adeguato a  $k'$ ".
17  Uscire;
18  End

```

---



## CONCLUSIONE

L'introduzione delle tecnologie digitali nella nostra vita quotidiana è stata discussa al Forum Economico Mondiale di Davos nel 2016 come la "Quarta Rivoluzione Industriale". Di fronte a queste nuove tecnologie, l'architettura ha beneficiato principalmente del sistema BIM. Per creare algoritmi derivati dalle analisi degli edifici, è necessario scegliere un software adeguato per gli elementi parametrizzati. Attraverso la consultazione della documentazione di questi software, è possibile sviluppare codici basati su queste analisi matematiche.

La grammatica della forma, integrata con le capacità dell'HBIM, consente un'analisi precisa e la creazione di modelli digitali che possono essere utilizzati sia per la conservazione che per il restauro di edifici modernisti. L'analisi matematica dell'architettura moderna, esemplificata dagli algoritmi sviluppati, dimostra che è possibile catturare le sfumature del progetto originale e applicarle nella creazione di librerie parametrizzate. Questo facilita la riproduzione fedele degli elementi architettonici e garantisce la conservazione precisa del lascito modernista.

## BIBLIOGRAFIA

Blömker, A. (2017). Vila Savoye e Casa Curutchet: Dos cinco aos dez pontos corbusianos. Tesi di Laurea Magistrale in Architettura — Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponibile em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/156323/001016431.pdf?jsessionid=>

Cabral, M. C. N. (2019). Paisagem do abandono: Grandes edificações modernas inativas. In: *13ª DOCOMOMO BRASIL, Salvador. 07 a 10 de outubro de 2019*. Disponibile em: <https://docomomobrasil.com/wp-content/uploads/2020/04/110931.pdf>. Accesso em: 11 jul. 2024.

Canuto, C. L. (2017). Modelo BIM e proposta de intervenção no palácio Gustavo Capanema, Rio de Janeiro-RJ : Pela preservação digital do patrimônio moderno. Dissertação (Mestrado em Projeto e Patrimônio) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponibile em: <http://objdig.ufrj.br/21/teses/867510.pdf>. Accesso em: 11 jul. 2024.

Canuto, C. L.; Salgado, M. S. (2020). Modelo BIM do palácio Gustavo Capanema 1937-1945: Pela preservação digital do patrimônio moderno. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, n. 1, p. 101-116. São Carlos. Disponibile em: <https://revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/152823/157975> Acessado em: 11 jul. 2024.

Corbusier, L. (2002). *Por uma arquitetura. 6a*. São Paulo: Perspectiva.

Gips, J. (1975). *Shape Grammars and their uses: Artificial perception, shape generation and computer aesthetics*. Stuttgart: Birkhauser Verlag.

Gips, J. (1999). Computer implementation of shape grammars. In: *Workshop on Shape Computation*, MIT. 1999. Disponibile em: [https://www.academia.edu/3089939/Computer\\_Implementation\\_of\\_Shape\\_Grammars](https://www.academia.edu/3089939/Computer_Implementation_of_Shape_Grammars). Accesso em: 11 jul. 2024.

Haakonsen, S. M.; Rønquist, A.; Labonnote, N. (2023). Fifty years of shape grammars: A systematic mapping of its application in engineering and architecture. In: *International Journal of Architectural Computing*, v. 21, n. 1, p. 5-22. Disponibile em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/14780771221089882>. Accesso em: 11 jul. 2024.

Oksman, S. (2017). *Contradições na preservação da Arquitetura*

Moderna. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponibile em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16133/tde-01062017-164550/pt-br.php>. Acesso em: 11 jul. 2024.

Simeone, D.; Stefano, C.; Acierno, M. (2019). BIM semantic-enrichment for built heritage representation. In: *Automation in Construction*, n. 97, p. 121-127. Disponibile em: [https://www.academia.edu/54754018/BIM\\_semantic\\_enrichment\\_for\\_built\\_heritage\\_representation](https://www.academia.edu/54754018/BIM_semantic_enrichment_for_built_heritage_representation). Accesso em: 11 jul. 2024.

Tolentino, M. M. A. (2018). A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) — Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade da Bahia, Rio de Janeiro. Disponibile em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/27947>. Acesso em: 11 jul. 2024.



TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE