

COLLANA  
**3D MODELING & BIM**

# **PARA LA TRASFORMACIÓN DIGITAL**

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



---

A cura di:  
Adriana Caldarone  
Tommaso Empler  
Javier Nunez  
Stefania Portoghesi Tuzi



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

**Curatori:** Tommaso Empler, Adriana Caldarone, Javier Nunez, Stefania Portoghesi 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

\* 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 Commitee

- 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 Empler	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
---	----

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). Arena Marinella, Serena Bugliesi, Daniele Colistra	55	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 Emanuela Chiavoni, Francesca Porfiri, Federico Rebecchini, Maria Belen Trivi	117
GESTIONE DEI MODELLI OPEN H-BIM PER L'INTEROPERABILITÀ DEI DATI — MANAGEMENT OF OPEN H-BIM MODELS FOR DATA INTEROPERABILITY Stefano Bertocci, Marco Ricciarini, Francesca Galasso	69	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. Antonio Conte, Marianna Calia, Roberto Pedone, Rossella Laera, Emanuela Borsci, Ali Yaser Jafari, Valerio Maria Sorice	127
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. Matteo Bigongiari, Giovanni Pancani, Andrea Pasquali, Luca Chiavacci	81	DAL BUILDING INFORMATION MODELING AL BETTER INFORMATION MANAGEMENT/METHODOLOGY — FROM BUILDING INFORMATION MODELING TO BETTER INFORMATION MANAGEMENT/METHODOLOGY Tommaso Emler	139
LEVEL OF SUSTAINABILITY: PROCEDURE HBIM A CONFRONTO PER LA SOSTENIBILITÀ — LEVEL OF SUSTAINABILITY: HBIM PROCEDURES COMPARED FOR SUSTAINABILITY Adriana Caldarone	93	"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" Francesca Fatta, Sonia Mollica, Francesco Stilo	153
INVESTIGATIVA, SURREALE, EVERSIVA. LA MODELLAZIONE 3D NELLA COMPrensIONE DELLO SPAZIO CONTINUO DELLE SCALE APERTE NAPOLETANE. — INVESTIGATIVE, SURREAL, SUBVERSIVE. 3D MODELING IN THE UNDERSTANDING OF THE CONTINUOUS SPACE OF NEAPOLITAN OPEN STAIRCASES. Carlos Campos, Alessandra Cirafici	105	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. Riccardo Florio, Raffaele Catuogno, Teresa Della Corte, Anna Sanseverino, Caterina Borrelli, Victoria Ferraris	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 life-cycle 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.

# 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  $V_m \cap$  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.

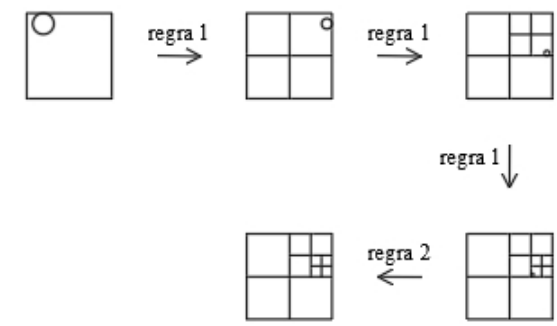
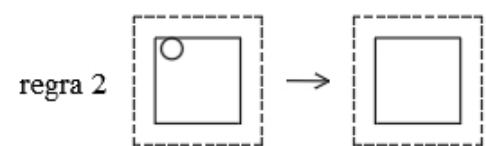
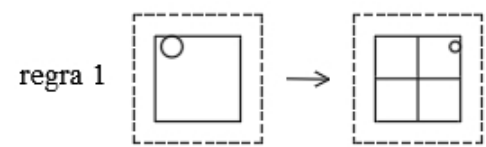
Per Gips [1999, p.2], "la svolta di questo tipo di programma sarebbe un plug-in di grammatica della forma per un programma CAD tradizionale che utilizzerebbe le grammatiche della forma per aiutare il designer praticante". Riguardo alla richiesta di Gips, Ulrich Flemming scrisse:

" 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)

$SG1 = \langle V_t, V_m, R, I \rangle$

$V_t = \{ \square \}$   
 $V_m = \{ \bigcirc \}$

$R$  contém



Logo a linguagem definida por SG1 é:

$L(SG1) = \{ \square, \begin{smallmatrix} \square & \square \\ \square & \square \end{smallmatrix}, \begin{smallmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{smallmatrix}, \begin{smallmatrix} \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square \\ \square & \square & \square & \square \end{smallmatrix}, \dots \}$

Fig. 1 - Exemplo de Grammatica della Forma. Fonte: Acervo do autor, adaptado 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

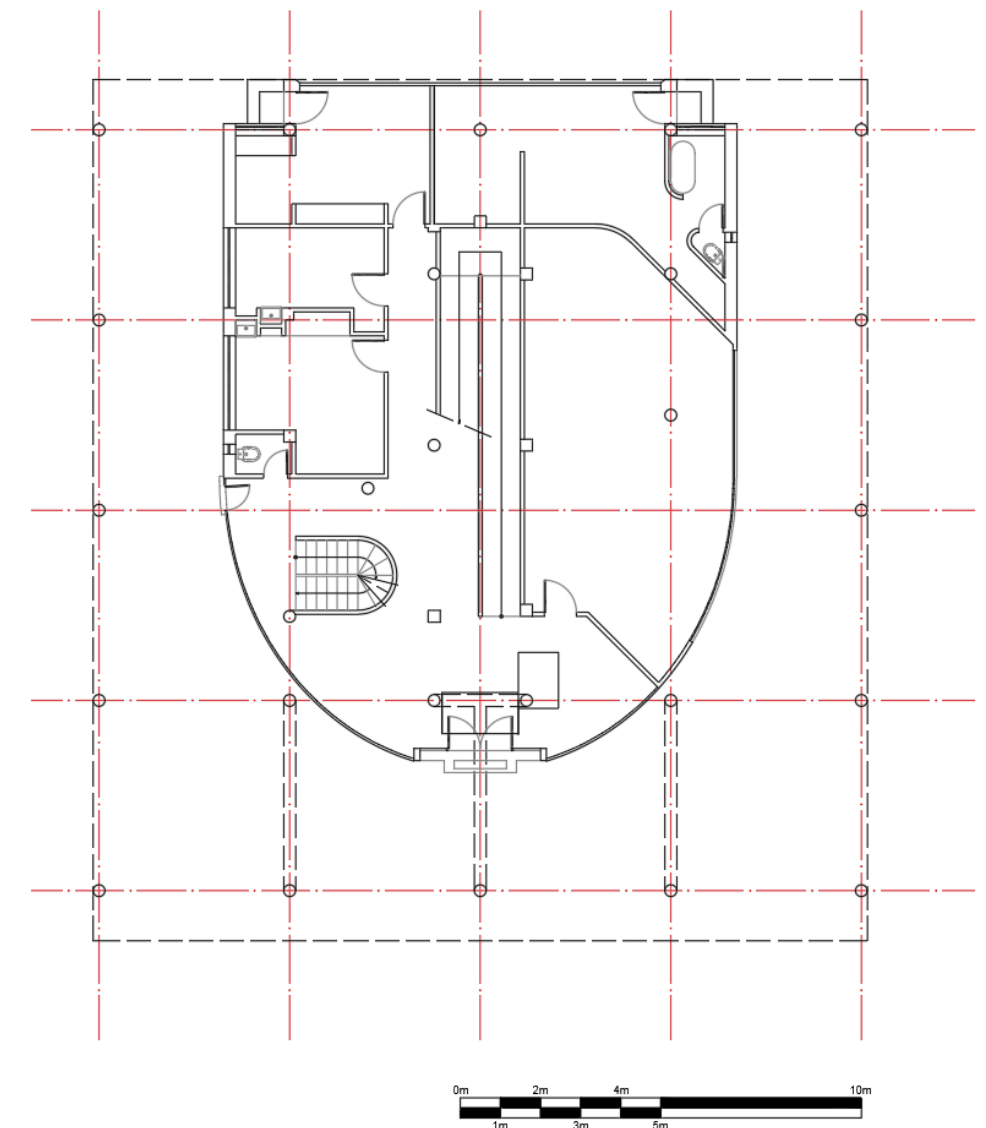


Fig. 2 - Moduli della Villa Savoye, Pianta Bassa Piano Terra.  
Fonte: Acervo do autor - adattato da Blömker (2017).



parametrizzazioni 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.

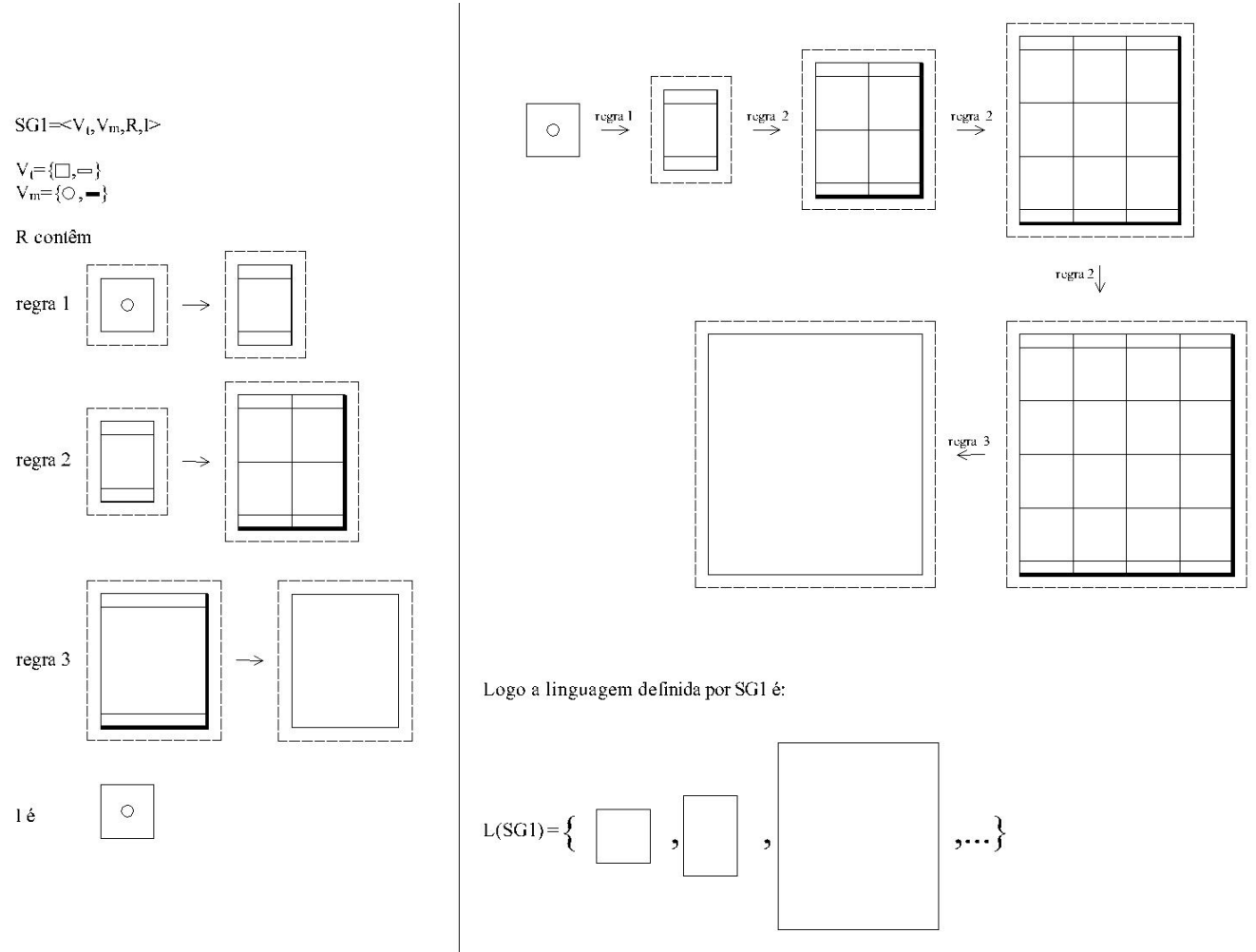


Fig. 3 - Grammatica della forma della generazione della pianta della Villa Savoye. Fonte: Acervo do autor, 2024.

**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    $P \leftarrow m \cdot \left( n + \frac{1}{2} \right)$ ;
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    $P \leftarrow m \cdot \left( n' + \frac{1}{2} \right)$ ;
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. Disponível 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*. Disponível em: <https://docomomobrasil.com/wp-content/uploads/2020/04/110931.pdf>. Acesso 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. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/21/teses/867510.pdf>. Acesso 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. Disponível 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. Disponível em: [https://www.academia.edu/3089939/ Computer Implementation of Shape Grammars](https://www.academia.edu/3089939/Computer_Implementation_of_Shape_Grammars). Acesso em: 11 jul. 2024.

Haakonsen, S. M.; Rønnquist, 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. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/14780771221089882>. Acesso 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. Disponível 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. Disponível 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). Acesso 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. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/27947>. Acesso em: 11 jul. 2024.

