



*Martina Attenni*

La struttura dei processi HBIM tra rilievo e modello.  
Scomposizione e ri-costruzione del patrimonio architettonico

Tesi di Dottorato di Ricerca - Ciclo XXXI - 2015/2018



## *Abstract*

*Digital models have now become indispensable for all the activities that aim to the knowledge, documentation and planning of interventions on the existing architectural heritage. Currently, 3D modeling and data sharing allow to describe architectural structures as a complex process, based on geometric, cultural, historical, theoretical features, able to extend the knowledge of architectural assets. HBIM (Heritage Building Information Modeling) enrich the management of the existing reality and the design of interventions from the general to the detailed scale, through the complete interaction among different professional figures involved.*

*This research aims to define the main critical issues of the HBIM in relation to the built heritage, trying to define its implications with the representation and optimizing the use of data obtained from the consolidated integrated survey operations. The focus is identifying the decomposition of the architecture, based on structured criteria, and its reconstruction, through ideal models, as the main moments in the HBIM process.*

*The analysis of historical buildings belonging to different historical periods and with different formal and typological characteristics offers the opportunity to test the structure of the process, validating it and guaranteeing quality in all its phases.*

*Martina Attenni*

**La struttura dei processi HBIM tra rilievo e modello.  
Scomposizione e ri-costruzione del patrimonio architettonico**



*Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura  
Dottorato in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura*

Coordinatore prof.ssa Donatella Fiorani

Sezione B - Disegno dell'Architettura

Responsabile prof.ssa Laura Carnevali

*Collegio del Dottorato, XXXI ciclo*

*ICAR/17 - Disegno*

Carlo BIANCHINI, Laura CARNEVALI, Anna Laura CARLEVARIS, Marco CARPICECI,  
Andrea CASALE, Emanuela CHIAVONI, Laura DE CARLO, Elena IPPOLITI, Maria  
MARTONE, Riccardo MIGLIARI, Leonardo PARIS, Fabio QUICI

*ICAR/18 - Storia dell'Architettura*

Aloisio ANTINORI, Simona BENEDETTI, Flavia CANTATORE, Piero CIMBOLLI  
SPAGNESI, Marzia MARANDOLA, Maurizio RICCI, Augusto ROCA DE AMICIS, Renata  
SAMPERI, Paola ZAMPA

*ICAR/19 - Restauro dell'Architettura*

Lia BARELLI, Calogero BELLANCA, Maurizio CAPERNA, Roberta Maria DAL MAS,  
Marina DOCCI, Maria Grazia ERCOLINO, Daniela ESPOSITO, Donatella FIORANI,  
Alessandro IPPOLITI, Maria Piera SETTE, Maria Grazia TURCO

*Scuola Nazionale di Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo*

*Sede centrale di coordinamento*

Sapienza Università di Roma

*Direttore*

prof.ssa Laura Carnevali

<i>Dottorando</i> Martina Attenni
<i>Responsabile Sezione B - Disegno dell'Architettura</i> prof.ssa Laura Carnevali
<i>Tutor</i> prof. Carlo Bianchini, Alfonso Ippolito



## Ringrazio

Alfonso Ippolito, per essere stato, in questi anni, il mio principale punto di riferimento, per aver creduto in me dal secondo anno di università, per avermi sempre consigliato, spronato e sostenuto, per avermi insegnato e avermi coinvolto in tante cose, professionalmente e umanamente.

Carlo Bianchini, per avermi trasmesso la curiosità verso questo tema di ricerca e per i confronti stimolanti, ma anche per il suo “nessuna nuova, buona nuova”, che ormai ho imparato a capire.

Carlo Inglese, per le risate, la disponibilità e il supporto morale.

Cristian, Lorena, Laura e Marika, perché siete ciò che di più bello resta di questo dottorato.

Giulia, Francesco, Roberto, Claudia e Serena, per esserci da sempre.

La mia famiglia, che ha cercato di capirmi anche quando sono stata lontana.

Martina D'Accunto, per la preziosa collaborazione alla modellazione dell'Istituto di Botanica.

Infine, ringrazio di nuovo Alfonso Ippolito, non come tutor ma per la presenza costante, per aver sopportato con pazienza, educazione e affetto anni di polemica, critica e lagna, e perché anche se dico ogni giorno che lo odio, in fondo non è vero.



## Indice

<b>Introduzione</b>	<b>6</b>		
<b>1. Modelli digitali integrati</b>	<b>14</b>		
1.1. Il concetto di modello ideale	14		
1.2. Modelli, dati e informazioni per il patrimonio culturale materiale	20		
<b>2. Processi BIM per i beni architettonici</b>	<b>34</b>		
2.1. Il contributo dei processi BIM nella costruzione di modelli del patrimonio costruito	34		
2.2. La relazione con i dati di rilievo	35		
2.3. Operatività del processo: approccio metodologico e flusso di lavoro	40		
2.4. Esperienze di organizzazione e sistematizzazione dei dati	43		
<b>3. Il lato oscuro dell'HBIM: criticità ed elementi di innovazione</b>	<b>62</b>		
3.1. Documentazione e semantica dell'informazione ovvero il problema della conoscenza	63		
3.2. L'assenza di un protocollo ovvero il problema della modellazione	69		
3.2.1 Scomposizione e ricostruzione dell'architettura	70		
3.2.2 La gestione efficace del modello numerico	74		
		3.2.3 Unicità delle componenti architettoniche ed espressione tramite il modello parametrico	79
		3.3. La validità scientifica del modello	81
		<b>4. Sperimentazioni nell'ambito del patrimonio architettonico</b>	<b>90</b>
		4.1. Definizione e struttura metodologica dell'approccio	92
		4.2. Architettura moderna: l'edificio di Botanica alla città Universitaria, Roma	94
		4.2.1 Cenni storici	94
		4.2.2 Rilevamento integrato	100
		4.2.3 La costruzione del modello BIM	104
		4.3. Complessi architettonici stratificati: il Tempio del Divo Claudio a Roma	116
		4.3.1 Cenni storici	116
		4.3.2 Rilevamento integrato	122
		4.3.3 La costruzione del modello BIM	124
		4.4. Scomposizione e ricostruzione dell'architettura: il confronto tra i processi seguiti	
		<b>Conclusioni</b>	<b>148</b>
		<b>Glossario</b>	
		<b>Bibliografia</b>	

Ove non diversamente specificato, le immagini sono elaborazioni grafiche a cura dell'autrice. Riguardo alla terminologia, si è scelto di mantenere alcune voci in lingua originale e di non usare la traduzione in italiano.

Nella sezione *Glossario* si trovano i termini più utilizzati nel testo e quelli non immediatamente riconducibili alla lingua italiana, che tuttavia vengono utilizzati nel nostro linguaggio corrente.





## **Introduzione**

L'evoluzione delle tecnologie digitali a servizio della rappresentazione dell'architettura ha permesso il raggiungimento di obiettivi prima impensabili per il rilievo, la conoscenza e la comunicazione del patrimonio costruito. Integrando le possibilità offerte dagli strumenti di modellazione tridimensionale, solida e parametrica<sup>1</sup>, con quelle dei sistemi per la gestione e la condivisione di dati, i sistemi BIM – Building Information Modeling – promettono nuovi scenari per l'archiviazione e la gestione di grandi quantità di informazioni per la conoscenza dei Beni Culturali<sup>2</sup>.

La presente ricerca si prefigge di rendere manifeste le potenzialità e le criticità connesse all'introduzione di processi BIM nel campo della conoscenza, della trasformazione e della gestione del patrimonio costruito. Lo studio si colloca nell'ambito del rilievo inteso come sistema strutturato, capace di organizzare dati eterogenei attraverso modelli 3D/2D, e della rappresentazione, intesa come strumento per la documentazione, la diffusione e la comunicazione delle informazioni concernenti il Patrimonio Culturale materiale. Questi temi risultano strettamente collegati allo sviluppo tecnologico degli ultimi 20 anni che ha portato un cambiamento significativo nel paradigma culturale rispetto ai problemi di acquisizione e condivisione della conoscenza. Ciò è dovuto alle modalità, ormai quasi esclusivamente digitali, utilizzate per la costruzione di modelli, intesi come basi di dati sempre più complete, eterogenee, implementabili e condivisibili. Inoltre, la necessità sempre crescente di interventi a scopo preventivo e conservativo su manufatti esistenti impone l'esigenza di disporre di metodi e strumenti per raccogliere, archiviare, confrontare, condividere e gestire informazioni sul loro stato passato, presente e futuro. Tali concetti risultano strettamente connessi alle modalità per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati, ovvero alla sinergia tra le metodologie di acquisizione massiva<sup>3</sup> per il rilevamento e la costruzione di modelli digitali.

In questo quadro si collocano i processi BIM (Building Information Modeling) ed HBIM<sup>4</sup> (Heritage Building Information Modeling), basati sulla costruzione e rappresentazione di oggetti parametrici. È noto come oggi, nel campo dell'edilizia e della costruzione dell'architettura, il BIM costituisca ormai un riferimento fondamentale per le nuove costruzioni, la cui caratteristica fondamentale risiede nella standardizzazione delle componenti costruttive e architettoniche. Diversamente, l'approccio introdotto dal BIM non risulta ancora del tutto adeguato per l'edilizia esistente e per i manufatti storici, che costituiscono la maggior parte del patrimonio architettonico costruito. È semplice comprendere che la costruzione dell'architettura richiede una standardizzazione sia dei processi, sia delle componenti usate nel corso della sua realizzazione, per garantire una maggiore economia. Tuttavia, questo concetto risulta complesso se esteso all'ambito dei beni culturali, in cui alla standardizzazione si contrappone l'unicità del manufatto.

La presenza sul territorio di un elevatissimo numero di edifici esistenti, molti dei quali di elevato valore storico-culturale, che richiedono interventi di trasformazione più o meno incisivi, ha favorito l'estensione della direttiva EUPPD 2014/24/EU (European Union Public Procurement Directive) del 2014. L'applicazione della norma in questione promuove un nuovo approccio riguardante l'intero processo edilizio (progetto, rappresentazione, costruzione, gestione e manutenzione) ed invita all'utilizzo del BIM non solo per interventi di nuova costruzione ma anche per il restauro, l'adeguamento o la manutenzione. Inoltre, il decreto ministeriale n.560/2017 renderà il BIM

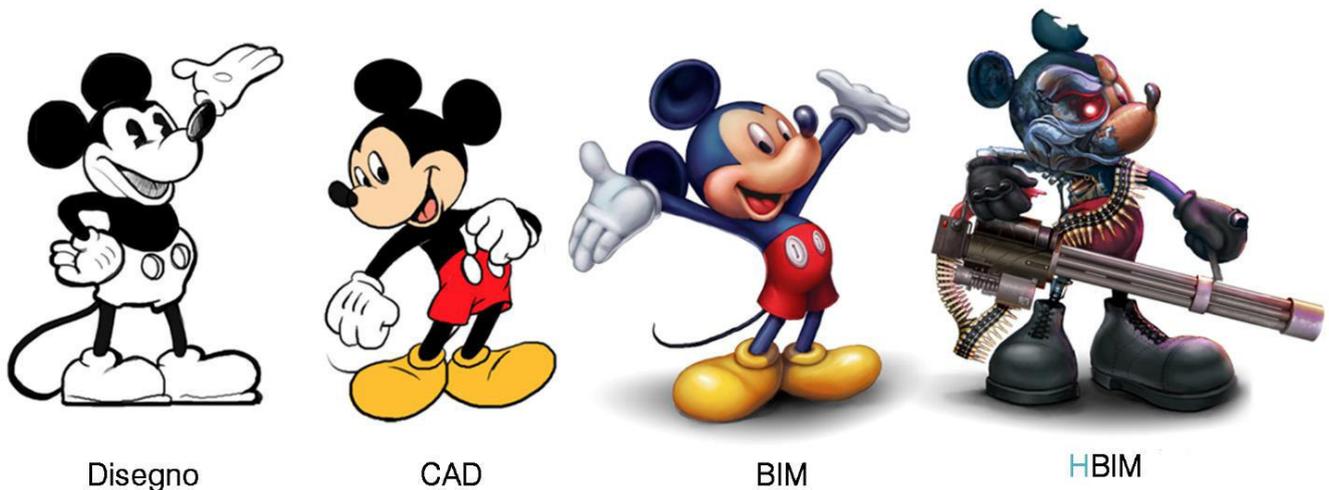


Fig. 1 Dai sistemi di rappresentazione tradizionali al modello digitale evoluto.

([https://orig00.deviantart.net/59ec/ff/2011/324/d/e/mickey\\_mouse\\_revolution\\_by\\_veronikad-d4grwoa.jpg](https://orig00.deviantart.net/59ec/ff/2011/324/d/e/mickey_mouse_revolution_by_veronikad-d4grwoa.jpg))

obbligatorio dal 2019 per gli appalti su costruzioni pubbliche e, poiché gli interventi sul patrimonio costruito in Italia sono evidentemente più orientati alla tutela e alla valorizzazione che a nuove realizzazioni, la rilevanza scientifica della questione risulta fin troppo evidente.

In questo contesto occorre tener presente le relazioni tra le direttive imposte dalla norma UNI 1137, che tratta degli aspetti generali della gestione digitale del processo informativo nel mondo delle costruzioni, e il patrimonio architettonico esistente, spesso caratterizzato da una valenza storico culturale. La norma definisce i concetti di “Informazione” e “Contenuto Informativo”, indicando gli “Elaborati Informativi” e i “Modelli Informativi” come veicoli delle informazioni, quelli di “Oggetto Digitale” e di “Libreria di Oggetti Digitali”, facendo particolare riferimento agli usi del modello digitale e al suo livello di sviluppo geometrico (LOG *Level of Geometry*) e informativo (LOI *Level of Information*). Questi concetti, e le operazioni di costruzione di modelli ad essi collegate, sono strettamente connessi agli aspetti di conoscenza e documentazione della storia dei manufatti costruiti e del loro stato attuale, quindi alle attività di acquisizione di dati del patrimonio storico. L’integrazione tra i dati di rilevamento, oggi sempre più completi, eterogenei e condivisibili, e i sistemi HBIM, consente di portare all’interno di questi moltissime informazioni reality-based. Tali informazioni (metriche, geometriche, morfologiche, materiche, cromatiche), espresse tramite modelli digitali (numerici, geometrici, texturizzati)<sup>5</sup>, permettono di ampliare la conoscenza dell’intero manufatto ed offrire un controllo sul costruito, utilizzando i dati acquisiti nello sviluppo di successivi progetti. In realtà, la costruzione di modelli BIM/HBIM per il patrimonio storico, e dunque la parametrizzazione di realtà caratterizzate da infinite possibili variazioni, presenta notevoli gradi di complessità. Ciò è dovuto, da una parte, alla non sempre evidente riconoscibilità geometrica dello spazio e, dall’altra, alla necessità di predisporre letture sistematiche del costruito storico, individuando un sistema informativo definito sulla base di

macroelementi, a cui associare dati capaci di documentarne le specificità materiche, storiche e tecnologiche. Emerge quindi la necessità di rendere stabile il processo che lega i modelli BIM al rilievo, poiché dalla loro sinergia dipende l'affidabilità complessiva delle successive elaborazioni, che integrano in maniera sempre più complessa diverse tipologie di dati, modelli e informazioni.

Il focus è quello di delineare un protocollo operativo basato sulla costruzione di modelli tridimensionali informativi, definiti sul livello geometrico e semantico, a partire dall'acquisizione massiva di dati. Nel complesso passaggio da un modello numerico della realtà ad un modello geometrico della stessa, dopo le necessarie riflessioni preliminari per un approccio consapevole al cosiddetto HBIM, la discussione si concentrerà su due casi studio nell'ambito del patrimonio architettonico, rappresentativi di diverse epoche storiche ed emblematici di interessanti tipologie architettoniche.

### **Finalità e obiettivi della ricerca**

La ricerca presentata si propone di analizzare le criticità dei BIM in relazione al patrimonio architettonico costruito, cercando di definirne le implicazioni nel campo del rilievo e della rappresentazione. I processi BIM, concepiti e sviluppati nel campo della nuova progettazione, si collocano ormai alla base della pianificazione di interventi sul patrimonio architettonico esistente e delle operazioni di restauro, risanamento conservativo e manutenzione, indissolubilmente legate allo stato di fatto delle strutture prese in esame. Ciò rende indispensabile la conoscenza di aspetti specifici che vengono messi in luce dalle operazioni di rilevamento e da una corretta elaborazione di modelli (tridimensionali o bidimensionali). La produzione di modelli utili in questo senso è una delle ragioni – più strettamente culturali che non economica o legata alla volontà di ottimizzare tempi e modalità di realizzazione e di gestione di un'opera architettonica – per cui i processi BIM sono entrati a far parte dell'ambito della rappresentazione. Le questioni teoriche legate a questo concetto sono piuttosto complicate. In primo luogo perché, se è vero che abbiamo imparato a fare esperienza dell'architettura anche quando essa è solo «memoria, evocazione, immagine, virtualità»<sup>6</sup>, è vero anche che la costruzione di modelli attraverso sistemi BIM esprime tutta la materialità e la concretezza degli spazi edificati, che risultano essere fortemente controllati negli attributi metrici, geometrici e materici, rendendo così la rappresentazione dell'architettura parzialmente mediata<sup>7</sup>. In secondo luogo perché la modellazione di particolari conformazioni di un manufatto architettonico spesso si spinge oltre gli aspetti tangibili e direttamente osservabili e misurabili dello stesso. Questo porta a dover considerare, da un lato, una serie di informazioni volte ad ottenere e a comunicare una conoscenza delle strutture analizzate il più possibile ampia, dall'altro, a porsi con un atteggiamento critico rispetto alla scelte di semplificazione tipiche della fase di modellazione. Una descrizione dettagliata dello stato di un manufatto architettonico, frutto di eventuali cambiamenti subiti nel tempo e costituito da elementi dal carattere unico, è indispensabile in un processo che ne comprenda conoscenza, pianificazione di interventi e gestione.

Il tema, ancora al centro di sperimentazione da parte di studiosi della rappresentazione, storici, restauratori, e figure che lavorano nel campo dei beni culturali, viene affrontato con un duplice obiettivo: da un lato, quella di delineare un protocollo operativo legato alle possibilità di gestione del patrimonio architettonico costruito, potenziate dall'integrazione con le metodologie per l'acquisizione massiva di dati, dall'altro implementare possibilità di processi

HBIM nel processo consolidato di rilevamento integrato. La messa a sistema di una serie di dati eterogenei e la possibilità di visualizzarli e utilizzarli contestualmente ad un modello tridimensionale completo rende necessaria una riflessione riguardo quale sia la corretta impostazione che un modello BIM deve avere affinché sia utile a studi e attività di tipo integrato. Il presente lavoro cerca di dare risposta alle questioni appena sollevate, identificando il momento principale della modellazione HBIM nel processo di analisi e scomposizione dell'architettura esistente e nella sua ricostruzione attraverso la modellazione parametrica. Inoltre, si pone l'accento sul concetto di modello ideale, rintracciando la caratterizzazione che tale modello deve possedere per garantire l'efficacia e l'efficienza dei processi HBIM.

### **Articolazione delle fasi della ricerca**

Lo scopo della ricerca è quello di costruire modelli tridimensionali tramite processi HBIM per definire un protocollo operativo laddove i dati di rilievo costituiscono un aspetto fondamentale per tutte le attività che riguardano oggetti del patrimonio architettonico esistente. Punto di partenza è il rilievo tridimensionale condotto integrando metodologie non a contatto (scansione laser 3D, Structure from Motion, topografia), in grado di consentire l'elaborazione di varie tipologie di modelli (3D e 2D, numerici, geometrici e texturizzati) di cui si vuole studiare la relazione con le piattaforme HBIM. L'esperienza mira alla costruzione di modelli che possano costituirsi come prototipo per la gestione di dati di manufatti storici con caratteristiche differenti, in modo da abbracciare diverse casistiche confrontando la struttura del processo e analizzare problematiche e possibili soluzioni, punti di contatto e differenze. La prima fase della ricerca consisterà nella ricognizione e nello studio di informazioni relative all'approccio seguito all'interno di esperienze condotte nel campo della costruzione di modelli BIM per i beni culturali. A questo proposito, un'analisi di carattere generale sulla nozione di modello, incentrata in particolar modo sui modelli digitali e sul loro utilizzo per la documentazione e la comunicazione di dati del Cultural Heritage, sottolinea come oggi sia sempre più centrale il concetto di informazione. Infatti, la possibilità di realizzare modelli tridimensionali caratterizzati da un elevato livello di similarità con gli oggetti reali, consentita dalle metodologie per l'acquisizione massiva e dalla capacità di concepire e sviluppare forme sempre più complesse, sono soltanto alcune delle potenzialità dell'ambiente digitale. Un altro aspetto, ritenuto ormai fondamentale, è la condivisione di informazioni eterogenee, messe in relazione dalle diverse piattaforme. Queste premesse evidenziano alcune problematiche attualmente discusse nel campo del patrimonio architettonico costruito: la volontà di associare dati eterogenei a modelli 3D e la non completa integrabilità dei dati disponibili all'interno di diversi sistemi, che attualmente trova la massima realizzazione nei processi e negli oggetti *BIM-oriented*. L'analisi critica di sperimentazioni già concluse ha consentito di identificare le esigenze attuali in questo ambito e di proporre una metodologia caratterizzata dalla sinergia tra l'acquisizione e la comunicazione di dati di rilievo e la modellazione BIM, individuando un potenziale elemento di innovazione nella definizione dei criteri seguiti per la costruzione di modelli e la sistematizzazione di dati in relazione all'utilizzo degli stessi. L'integrazione di dati all'interno di modelli tridimensionali ha assunto un ruolo strategico del settore del Cultural Heritage, sia nell'ambito accademico e della ricerca scientifica, sia in quello professionale. In entrambi i casi, la crescente tendenza allo specialismo richiede un'interdisciplinarietà che pone in essere una serie di necessità: la collaborazione tra diverse figure professionali, la sistematizzazione e la divulgazione dei dati esistenti, la

comunicazione e la condivisione dei risultati ottenuti. Riguardo ai beni architettonici, l'acquisizione, la modellazione e la comunicazione dei dati sono dei processi che necessariamente devono dialogare tra loro e le attuali tendenze mettono in evidenza questa necessità. Le ricerche condotte sul patrimonio architettonico, si servono sempre più spesso di strumenti che consentono di ottenere maggiori informazioni dalla documentazione a disposizione, di stimolare nuove domande e proporre nuove e diverse interpretazioni dal punto di vista storico-critico, di essere più trasparenti nelle ricostruzioni e più efficaci nella comunicazione dei risultati. Sperimentazioni in tal senso riguardano essenzialmente la costituzione di modelli 3D interrogabili, che diventano veicolo per sistematizzare informazioni strutturate sui manufatti, di archivarle, di metterle a disposizione, e rispondere al forte bisogno di semantizzazione delle masse di dati.

La seconda fase, è indirizzata all'individuazione di casi studio che consentano di affrontare in modo diretto le problematiche fin qui genericamente descritte. L'impostazione del lavoro prevede la sperimentazione di una metodologia generale, il cui focus prevalente è la scomposizione di manufatti architettonici con differenti caratteristiche geometriche, formali, materiche e tecnologiche, e la successiva ricostruzione attraverso processi BIM. Questa fase è volta non solo alla sistematizzazione di tutti i dati esistenti, le informazioni storiche e bibliografiche, i dati riguardanti il progetto originario – qualora ve ne siano – ma anche alla conoscenza dello stato di fatto delle strutture attraverso il rilievo. Tali operazioni, condotte tramite le tecniche più innovative, consentono, da un lato, di documentare la qualità architettonica dei casi di studio analizzati, dall'altro costituiranno la base per la scomposizione degli stessi secondo criteri che si rifletteranno nell'impostazione dei modelli BIM.

Nella terza fase confluiscono considerazioni derivanti dalle fasi precedenti, di individuazione delle problematiche relative alla costruzione di modelli di architetture storiche analizzando criticità e potenzialità di un approccio che non nasce con questo obiettivo. L'ipotesi che questo sia estremamente efficace anche nel caso di elementi del patrimonio costruito viene verificata attraverso l'applicazione di una procedura che considera come punti chiave l'importanza di legare la modellazione BIM ai dati di rilievo e la definizione delle caratteristiche di un modello ideale che consenta un continuo confronto tra modello di progetto ed *as-built*.

---

<sup>1</sup> Per la definizione di questi termini si veda la voce *modello parametrico* nel Glossario, p. IV.

<sup>2</sup> Il termine Beni Culturali è da intendersi nella definizione dal punto di vista normativo (d.lgs. n. 42/2004), per cui si rimanda al Glossario, p. I.

<sup>3</sup> L'espressione fa riferimento a tutte le metodologie di rilevamento, ormai ampiamente consolidate, che non prevedono una selezione preventiva delle discontinuità principali da rilevare su un oggetto, quali che siano la scala e le caratteristiche formali e architettoniche dello stesso. In particolare, la scansione laser 3D e la Structure from Motion consentono oggi di acquisire dati su milioni di punti di una superficie, volti alla definizione di modelli tridimensionali numerici di cui è possibile conoscere caratteristiche quantitative (parametri fisici, informazioni metriche, geometriche, morfologiche e spaziali) e qualitative (proprietà contingenti o permanenti legate agli aspetti formali delle strutture analizzate).

<sup>4</sup> L'espressione HBIM appare per la prima volta nel 2013, in un articolo di C. Dore e M. Murphy, dal titolo *Semi-automatic modelling of building facades with shape grammars using historic building information modelling*. Gli autori presentano i primi

esiti di una ricerca in cui il processo BIM veniva sviluppato nel campo del digital heritage, con l'obiettivo di proporre librerie di oggetti parametrici basate su dati provenienti dallo studio di edifici storici all'interno di sistemi in grado di integrare modelli parametrici con i dati di rilievo, intesi nello specifico come nuvole di punti e immagini. Attualmente, l'acronimo HBIM è entrato nel linguaggio di ambito accademico e professionale e viene usato per indicare, indifferentemente, *Heritage Building Information Modeling* o *Historical Building Information Modeling*. Talvolta vengono utilizzate diverse espressioni, ad esempio *AHBIM* (*Architectural Heritage BIM*), con l'obiettivo di focalizzare maggiormente l'obiettivo dello studio condotto tramite i processi BIM. Maggiori dettagli vengono forniti nel capitolo che analizza le esperienze più significative condotte negli ultimi anni (Cfr. par. 2.4 *Esperienze di organizzazione e sistematizzazione dei dati*)

<sup>5</sup> Cfr. Glossario, p.V.

<sup>6</sup> Ugo, V. 1994, p.11.

<sup>7</sup> Questa affermazione fa riferimento alla componente interpretativa che inevitabilmente entra a far parte del processo di modellazione. Il problema dell'interpretazione viene affrontato nel corso della ricerca condotta, pertanto, per meglio comprenderne le ricadute rispetto alla costruzione di modelli HBIM, si rimanda ai paragrafi 3.2 e 3.3.





## 1. Modelli digitali integrati

«[...] Non mi stancherò mai pertanto di raccomandare ciò che solevano fare i maggiori architetti: meditare e rimeditare l'opera da intraprendere nel suo complesso e la misura delle sue singole parti, servendosi non solo di modelli e schizzi, ma anche di modelli fatti di assicelle o d'altro materiale, oltrech  valendosi del consiglio degli esperti [...] L'uso di tali modelli permette di avere sotto gli occhi nel modo pi  chiaro la disposizione ordinata di tutti quegli elementi che abbiamo descritto nel libro precedente: la posizione rispetto all'ambiente, la delimitazione dell'area, il numero delle parti dell'edificio e la loro disposizione, la conformazione dei muri, la solidit  delle coperture ecc. [...]

Meglio quindi che si facciano modelli non gi  rifiniti impeccabilmente, forbiti e lucenti, ma nudi e schietti, s  da mettere in luce l'acutezza della concezione architettonica, non l'accuratezza dell'esecuzione del modello».

L. B. Alberti, *De re aedificatoria* (Libro II, cap. III), Firenze, 1443.

### 1.1. Il concetto di modello ideale

L'architettura, nella nostra tradizione culturale, pu  essere considerata la sintesi di tre componenti: quella teorica, quella storica, quella materiale. Essa esprime concetti di ordine tecnico, estetico, funzionale, economico e formale, concretizzandoli in forme e oggetti costruiti fortemente legati all'epoca storica a cui appartengono. L'insieme di opere edificate sotto l'attenta supervisione dell'architetto si relaziona, da una parte, con l'aspetto costruttivo, fisico e spaziale, che prende forma nella costruzione e nell'uso, dall'altra, con gli aspetti teorici e critici che attengono maggiormente allo studio e all'analisi dell'architettura. I due ambiti non sono tra loro indipendenti ma trovano un punto di contatto nella rappresentazione, che ci restituisce la conoscenza di

opere anche di cui non avremo mai esperienza o conoscenza diretta, sotto diverse e numerose forme (immagini, diagrammi, schemi, disegni, modelli, ecc.). La rappresentazione ha il compito di rendere conto dei caratteri metrici, materici e qualitativi dell'architettura per mezzo di un suo simulacro, permettendone la conoscenza anche se essa non   presente fisicamente. Essa ha, dunque, la funzione di svelarci la «verit  dell'opera, deve [...] rivelarcela, dimostrarcela, costruirla, ponendosi in rapporto sia con la storia, che con la teoria, che con la tecnica»<sup>1</sup>.

Si pongono a questo punto diversi problemi che hanno coinvolto da sempre gli studiosi di architettura: comprendere i rapporti tra ci  che   reale e ci  che   rappresentato (Fig. 1.1; Fig. 1.2), e definire quali codici possono garantirne il valore veritativo, il carattere conoscitivo e gli esiti analitici. Non si vuole tracciare



Fig. 1.1 René Magritte, 1953. *Ceci n'est pas une pipe.* a rappresentazione del vero non è mai un semplice trasferimento speculare della realtà. L'arte non copia la natura ma è un linguaggio convenzionale.

in questa sede un excursus sull'utilizzo dei modelli per l'architettura<sup>2</sup>, perché la loro storia è talmente vasta che dovrebbe essere oggetto di un trattamento specifico. Tuttavia, andrebbero affrontate le questioni legate sia ai concetti di discretizzazione e approssimazione della realtà, sia alle simulazioni virtuali e visuali consentite dai sistemi digitali e al loro rapporto con il disegno tradizionale. Tale premessa consente comunque di riconoscere il ruolo svolto dalla rappresentazione, sia per il controllo e la verifica progettuale, sia per la registrazione, l'archiviazione e la trasmissione di informazioni. Tornando alla storia dell'architettura, è chiaro come nel corso dei secoli il tema della rappresentazione si sia andato sempre più affiancando a quello di modello, che possiamo considerare sotto diverse accezioni. In particolare, è possibile distinguere due grandi classi: quella dei modelli di oggetti riferibili al reale secondo determinati rapporti dimensionali, figurativi,



Fig. 1.2 Joseph Kosuth, 1965. *One and Three Chairs.* La formulazione di un concetto deriva da un atto di connessione tra fonti diverse: l'oggetto, la sua immagine e la sua rappresentazione verbale.

funzionali, materici, e quella che invece comprende forme o modi di organizzazione del pensiero. Nel corso della ricerca proposta si farà riferimento ad entrambi, considerando il modello appartenente alla prima tipologia come elemento che riunisce i concetti di mimesis, misura e geometria, che si costituisce elemento cardine del pensiero e della realizzazione architettonica, e al modello inteso come dispositivo teorico che consente di strutturare una riflessione di ampia portata culturale. Specificare questi concetti, la cui origine si lega alla storia della rappresentazione architettonica, consentirà di comprenderne meglio le connessioni con il tema della presente ricerca, estremamente attuale. La nozione di mimesis è da intendersi non soltanto come la riproduzione di un'immagine, ma come fattore che riesce ad esprimere, produttivamente e progettualmente, il contenuto più profondo dell'opera architettonica, la sua storicità, e i suoi rapporti con gli aspetti teorici. La

misura (dunque la commensurabilità) comprende le determinazioni metriche e quantitative ma si fonda essenzialmente su parametri qualitativi, modalità di composizione dello spazio), che vengono logicamente formalizzati all'interno del modello. La geometria, e i modi di formazione ed elaborazione delle sue proposizioni fondamentali, risulta indispensabile per comprendere la consistenza dei rapporti tra le forme del pensiero, la rappresentazione e la costruzione dell'architettura.

La convergenza di questi concetti all'interno di quello, più generale, di modello, conferisce allo stesso una grande consistenza teorica. Le nozioni di rappresentazione e di modello abbracciano un campo semantico molto vasto, dalle implicazioni scientifiche, filosofiche e multidisciplinari. Quando si parla di rappresentazione architettonica ci si riferisce comunemente a quella che riguarda le singole opere, progettate o costruite, e alla restituzione dei relativi dati figurativi e metrici. In realtà, il termine comprende anche una forma di conoscenza e di comunicazione che riguarda l'architettura come disciplina con solide basi teoriche, oltre che con evidenti implicazioni storiche (Fig.1.3; Fig. 1.4). Uno dei significati del termine *rappresentare*, considerato da un punto di vista prettamente letterale, è quello di "ri-presentare", ovvero presentare di nuovo, riportando sotto gli occhi dell'osservatore un oggetto, permettendone la percezione e la conoscenza. Tra le altre accezioni troviamo quella di "registrazione", con una maggiore valenza dal punto di vista documentale. Entrambi i significati presentano una componente gnoseologica e una tecnica, la cui sintesi porta all'elaborazione di disegni attraverso l'utilizzo di codici che li rendano comprensibili ed efficaci non solo per l'autore stesso, ma per chi si trova a doverli leggere ed interpretare (Fig.1.5.1; Fig. 1.5.2; Fig. 1.6;

Fig. 1.7). La realizzazione di qualsiasi disegno implica la combinazione tra presupposti teorici, idee, dati, informazioni, che devono essere regolate e codificate da una normativa scientifica. Ogni rappresentazione coinvolge quindi un ambito multidisciplinare che si formalizza attraverso un modello, inteso come sintesi tra i dati percettivi, la struttura teorica e quella fisica della realtà costruita. In ogni modello convergono quindi sia il concetto di rappresentazione, sia l'architettura nel suo statuto teorico, storico e materiale.

Queste premesse evidenziano alcuni temi fondamentali. Da un punto di vista pratico-operativo, l'ampiezza della gamma dei contenuti della rappresentazione architettonica rende impossibile utilizzarla secondo una modalità univoca e con le stesse modalità per ogni oggetto e per qualsiasi scopo. Da un punto di vista teorico-scientifico, viene riconosciuto il ricorso all'uso dei modelli come veicolo comunicativo del pensiero architettonico. Questa concezione di rappresentazione, sebbene non sia nuova nel contenuto<sup>3</sup>, consente di allargare i confini della ricerca se si pensa alle attuali possibilità proposte in ambito digitale. Oggi, parlare di modelli di architettura nel senso più generale possibile del termine<sup>4</sup>, impone necessariamente, o porta istintivamente, a considerare l'evoluzione dei sistemi scientifici, informatici e tecnologici. Il significato che assume il concetto di modello è dovuto principalmente alle sue attuali possibilità di manipolazione e visualizzazione, sviluppate con l'obiettivo di far convergere una conoscenza integrata e le varie informazioni all'interno di in rappresentazioni scientifiche. L'opportunità di lavorare con strumenti che consentano di visualizzare un'oggetto in uno spazio tridimensionale palesa alcuni dei maggiori vantaggi della tecnologia informatica: la potenzialità



Fig. 1.3 Canaletto, 1760. Capriccio veneziano con architetture di Andrea Palladio.

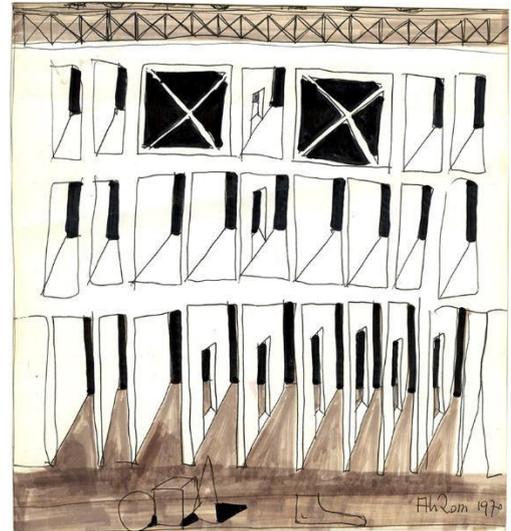


Fig. 1.4 Aldo Rossi, 1970. Schizzo per il quartiere gallaratese a Milano.

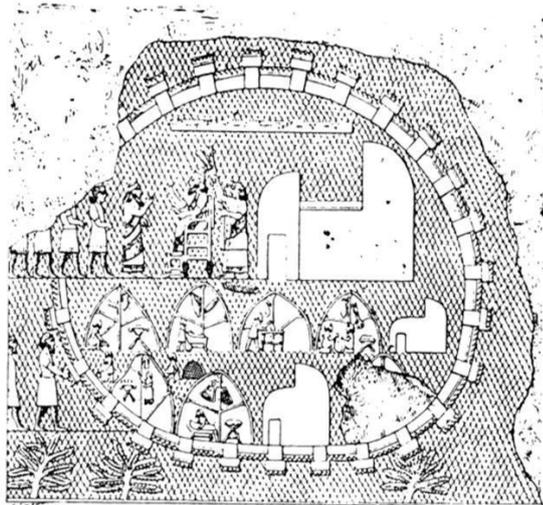


Fig. 1.5.1 Bassorilievo raffiguranti una città assira. Rappresentazione di abitazioni all'interno della cinta muraria. Immagine tratte da Docci, M., Maestri, D. 1993, Storia del rilevamento architettonico e urbano. Bari: Laterza Edizioni, p. 6.



Fig. 1.5.2 Bassorilievo raffigurante una città assira. Rappresentazione del territorio con alberi, fiumi e case sparse. Immagine tratte da Docci, M., Maestri, D. 1993, Storia del rilevamento architettonico e urbano. Bari: Laterza Edizioni, p. 6



Fig. 1.6 Frammento della Forma Urbis Romae..

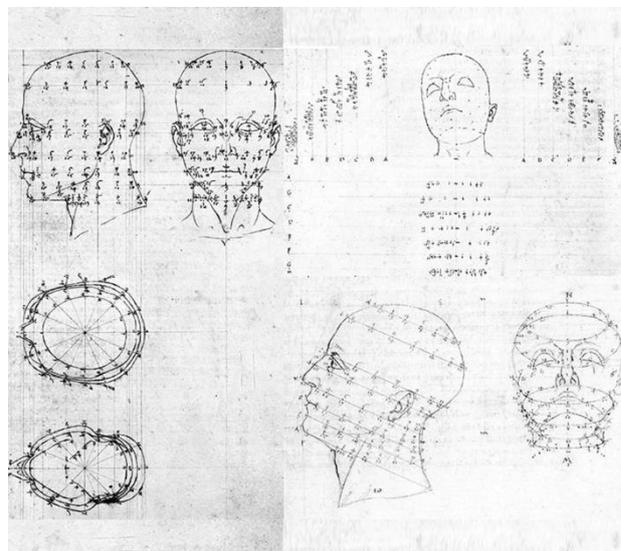


Fig. 1.7 Piero della Francesca, *De Prospectiva pingendi*, XV secolo. *Prospettiva di una testa*.

di esplorare i modelli forse in modo più efficace dell'opera stessa, per la possibilità di osservarla con diversi livelli di dettaglio e da diversi punti di vista, e la capacità di lavorare su una serie di dati, registrando lo stato di fatto, documentando le trasformazioni che i manufatti hanno subito nel tempo, prefigurando i più vari interventi progettuali (Fig. 1.8). Modelli di questo tipo permettono la conoscenza di manufatti architettonici andando oltre le qualità geometriche e dimensionali, poiché contengono anche tutte quelle informazioni che non si possono evincere dalla sola osservazione degli edifici. I dati che riguardano, ad esempio, l'evoluzione storica, l'analisi strutturale, l'analisi dei materiali e i fenomeni di degrado, rendono un modello sempre più esplicativo, completo e complesso. Diverse sono, quindi, le complicazioni legate alla struttura di un sistema di questo tipo. Prima tra tutte, la trasmissione di dati da modelli differenti ad

un unico grande modello-contenitore: le informazioni su aspetti specifici sono connesse ai relativi linguaggi scientifici, spesso incompatibili o comunque non studiati per essere messi in comunicazione con un lessico specifico di un'altra tipologia, anche se complementari o necessari per una conoscenza estesa. Il problema nasce, a livello teorico, all'interno degli ambiti scientifici di riferimento, ma ha inevitabilmente delle ricadute, a livello pratico e operativo, sulle applicazioni tecnologiche che diventano per uso e fruizione, trasversali a più campi di applicazione. La necessità di mettere a sistema informazioni eterogenee permette di generare un modello che possa considerarsi come la sintesi di modelli integrabili, e che ambisce ad essere il modello di riferimento per eccellenza. In altre parole, e (forse) più semplicemente, il modello ideale<sup>5</sup>.



*Fig. 1.8 Greg Lynn Form & Framestore Teams, 2016. U.S. Pavilion's "The Architectural Imagination". Biennale di Architettura di Venezia. L'esempio costituisce una completa integrazione tra rilievo e progetto, prototipazione e comunicazione.*

### ***1.2. Modelli, dati e informazioni per il patrimonio culturale materiale***

Negli ultimi anni l'attenzione verso i beni culturali è diventato un tema di enorme interesse, considerato non più appannaggio esclusivo di professionisti specializzati, ma una risorsa per lo sviluppo economico di comunità locali e di regioni. L'interesse per il patrimonio costruito costituisce un mezzo per ritrovare l'identità culturale, una materia preziosa nel settore della divulgazione della cultura e dell'istruzione. In questo contesto, che diviene sempre più aperto e condiviso, un ruolo importante è assunto dalle nuove tecnologie informatiche. Esse, da un lato consentono agli studiosi di semplificare la gestione e le analisi dei dati scientifici, dall'altra permettono al grande pubblico di migliorarne la conoscenza tramite strumenti e applicazioni sempre più innovativi e interattivi. La relazione tra i beni culturali e la loro virtualizzazione è diventata argomento di estremo interesse non solo da parte degli studiosi di diversi settori, ma anche delle organizzazioni preposte alla tutela e alla salvaguardia del patrimonio. L'importanza della digitalizzazione delle nostre risorse viene riconosciuta dall'UNESCO: la "Charter on the Preservation of Digital Heritage"<sup>6</sup> del 2003, dedica molto spazio al concetto di *digital heritage*, inteso come «*unique resource of human knowledge and its expression. It embraces cultural, educational, scientific and administrative resources, as well as technical, legal, medical, and other kind of information created digitally, or converted into digital form from existing analogue resources*»<sup>7</sup>. Sebbene l'interesse per il patrimonio digitale abbracci diversi ambiti, quello del patrimonio architettonico costituisce

certamente un campo di particolare interesse. Particolarmente degno di nota e pertinente in questa trattazione, è il riferimento al *digital built heritage*, di cui la carta dell'UNESCO sottolinea due aspetti fondamentali: la relazione dei modelli con la realtà che raffigurano e la loro natura digitale. Tali aspetti sono fortemente connessi con quelli della conoscenza e della rappresentazione, che offrono le questioni legate alla digitalizzazione, alla visualizzazione e alla trasparenza. Nel settore del patrimonio architettonico, questi concetti vanno analizzati teoricamente e messi in pratica operativamente, con riferimento ai modelli tridimensionali, il cui utilizzo è ormai praticamente ricorrente in tutte le attività condotte con finalità di valorizzazione e divulgazione. La modellazione tridimensionale si è affermata come una metodologia estremamente efficace da cui risulta difficile prescindere per la visualizzazione e la comunicazione di risultati di ricerca, o la validazione e la confutazione di ipotesi di lavoro riguardanti elementi costruiti e manufatti alla grande, media e piccola scala. I modelli informatici consentono simulazioni tridimensionali relative alle differenti e innumerevoli proprietà degli oggetti reali, sintetizzabili, come noto, in geometria (definizione delle coordinate dei punti), topologia (studio delle relazioni di connessione tra le componenti geometriche) e fotometria (descrizione di colori, normali di direzione, texture). La necessità di vedere rappresentate queste caratteristiche qualifica il modello come soggetto spaziale e determina le scelte operative per la sua costituzione. Tali caratteristiche, che sembrerebbero ampiamente esaustive per descrivere lo stato attuale di manufatti genericamente intesi, non sono le uniche in grado di fornirne una completa conoscenza. Essi escludono infatti tutti i dati relativi alla storia dell'oggetto di studio, alle trasformazioni che ha subito nel tempo, alle differenze

tra lo stato di fatto e lo stato di progetto, le relativa documentazione fotografica, storica, bibliografica e archivistica, fondamentale in ogni processo conoscitivo. All'interno di questo processo, un'altra importante categoria di informazioni è costituita dai dati di rilevamento e rilievo, che interessano la fetta di patrimonio che rientra sotto la definizione di materiale, o tangibile, essendo chiaramente impossibile descrivere lo stato di fatto per elementi non più esistenti. Rilevare un manufatto significa oggi conoscerne l'essenza più profonda, archiviando il dato grezzo<sup>8</sup>, a testimonianza dello stato di fatto dell'oggetto in esame, e mettendo a sistema diverse tipologie di informazioni, metriche, geometriche, cromatiche, materiche, strutturali, per restituire elaborati (modelli) bidimensionali e/o tridimensionali coerenti rispetto agli obiettivi del rilievo stesso.

In ogni caso, sia che si tratti di modelli numerici o geometrici<sup>9</sup>, derivanti da operazioni di rilevamento, sia che si tratti di modelli costruiti in seguito, a partire dalle sezioni caratteristiche dell'oggetto, occorre sottolineare due aspetti fondamentali.

Il primo riguarda la capacità dei modelli di descrivere la realtà, esistente o progettata: poiché tutti ne sono semplificazioni e schematizzazioni, si caratterizzano sempre per lo scarto che c'è tra l'informazione rappresentata dell'oggetto e il livello di dettaglio incluso nel modello. La definizione di tale attributo diventa fondamentale rispetto all'obiettivo per cui i modelli vengono costruiti: se sono troppo poco dettagliati si corre il rischio di perdere informazioni fondamentali perdendo così l'efficacia descrittiva, conoscitiva e comunicativa; al contrario, se il livello di dettaglio è eccessivamente complicato finisce per precludere lo sviluppo della comprensione (Fig. 9; Fig.10). La scelta condotta rispetto a questo parametro è oggi fortemente influenzata dalla possibilità di

trasferire nei modellatori informatici una grande mole di dati e di transitare in maniera dinamica, e con accessibilità continua, nel tempo e nello spazio, passando velocemente dal generale al particolare, e viceversa. Il modello, quindi, non è più solo prefigurazione del progetto ma un sistema plasmabile, rispetto ad obiettivi di volta in volta definiti, in grado di simulare la realtà contestualmente alle operazioni da condurre su di essa.

Il secondo riguarda invece il concetto di trasparenza. La questione, come spesso accade quando ci si addentra in ambiti che hanno a che fare con la complessità e con la diversità di situazioni che coinvolgono i beni culturali, è piuttosto complessa e ha alcune ricadute anche nell'ambito della modellazione digitale e della rappresentazione del patrimonio costruito. In generale, inseguire e perseguire la trasparenza in diversi ambiti scientifici, non solo è buona norma ma diventa quasi un obbligo. Quale che sia il campo di applicazione, si tratta di manifestare le metodologie utilizzate, dichiarare i processi seguiti, dichiarare le fonti studiate, archiviate e analizzate. Da quando la modellazione digitale ha invaso i settori della rappresentazione e della comunicazione dei beni culturali, l'attenzione a questi principi è diventata sempre più ricorrente, al punto di essere considerata uno standard. Ciò è dimostrato sia dalle numerose ricerche<sup>10</sup> sul tema dei metadati e dei paradatai<sup>11</sup>, ed è particolarmente evidente nel campo dell'archeologia virtuale<sup>12</sup>, in cui l'interdisciplinarietà rende necessario un continuo scambio di dati grezzi e informazioni su cui costruire ipotesi<sup>13</sup> (Fig.11). Alla base, l'idea che siano necessari dei principi metodologici al fine di rendere rigorosa e affidabile la visualizzazione del patrimonio culturale, in tutti gli ambienti della *computer-based visualization*, nei modelli 2D e 3D, nelle repliche fisiche degli oggetti.

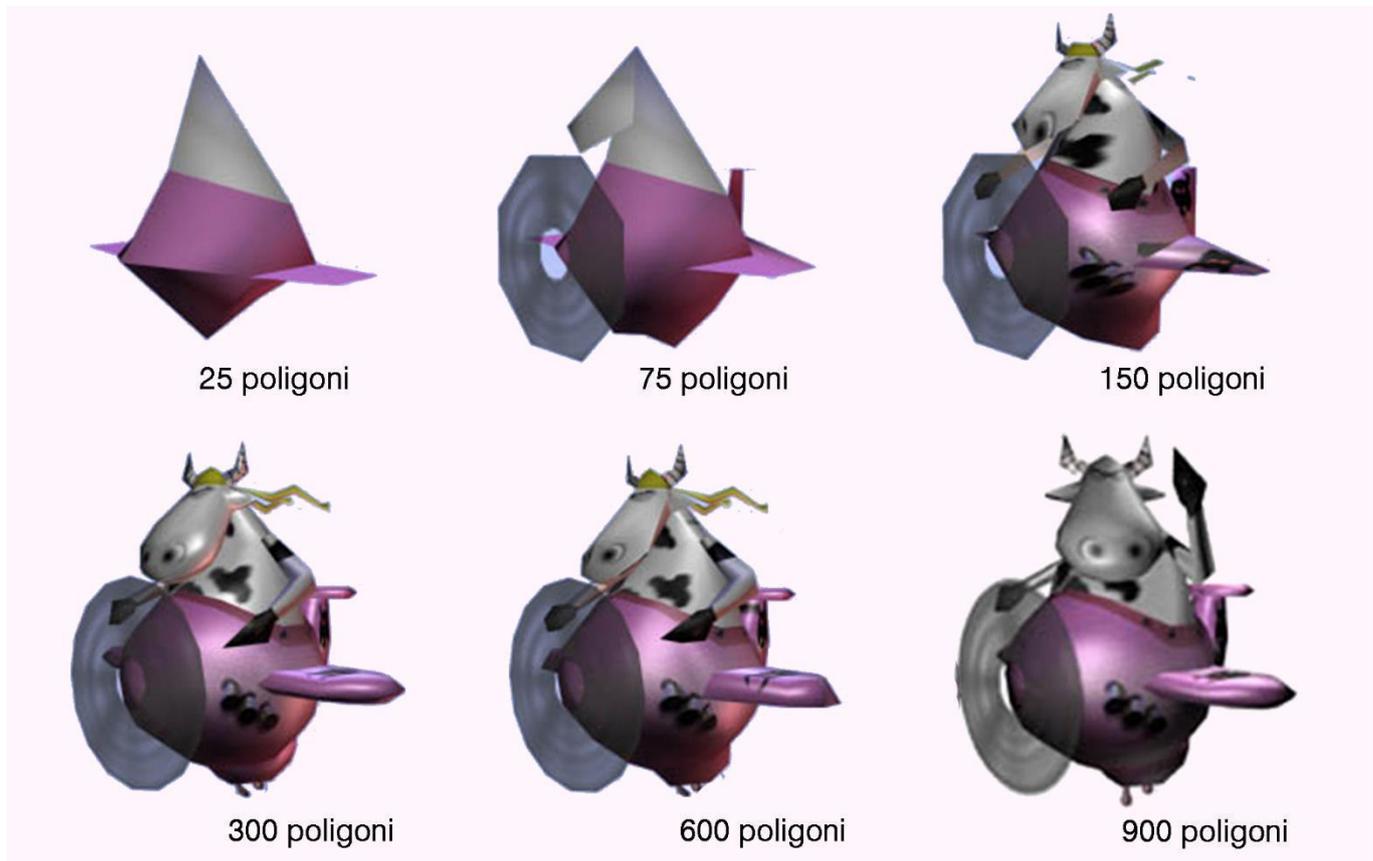


Fig. 1.9 Livelli di complessità dell'informazione nella modellazione 3D per la computer grafica. Modellazione: Sushi-x (<http://www.sushi-x.com/gallery/3d/cowani.jpg>)

Ciò è valido in tutti gli ambiti della fruizione del patrimonio, dal contesto accademico, a quello della ricerca<sup>14</sup>, al mondo professionale (Fig. 12), a quello dell'intrattenimento in genere (Fig. 13). L'applicazione di questi aspetti diventa estremamente interessante in riferimento al tema della costruzione di modelli tridimensionali, e alla connessione con dati eterogenei, sia rispetto al loro contenuto, sia alla modalità di acquisizione e archiviazione. Si configura quindi una situazione in cui, da un lato, troviamo numerosi applicativi che consentono di operare su

aggregati di dati eterogenei descrittivi delle molteplici qualità del reale rendendole fortemente integrabili; dall'altro, l'impossibilità di riconoscere una gerarchia strutturata rispetto alle molteplici informazioni fruibili. Basti pensare che, attualmente, quasi ogni software permette di inserire la propria struttura di dati all'interno di un altro, configurando scenari sempre più complessi all'interno dei quali «elaborare l'informazione significa eseguire calcoli logici su insiemi di dati omogenei che sono rappresentazione di fenomeni eterogenei»<sup>15</sup>. È evidente quindi come il



Fig. 1.10 Livelli di complessità dell'informazione nella modellazione 3D per i beni archeologici. Immagine tratta da: Gaiani, et al., 2011, p. 41.

concetto di modello digitale sia in continua evoluzione, contestualmente a quello di informazione. Tale affermazione si può comprendere a pieno se si guarda alla tecnologia non solo rispetto alla crescita e alla diffusione della rete internet o di dispositivi e periferiche sempre più alla portata di tutti, ma rispetto alla complessità dell'elaborazione informatica. Con riferimento ai modelli, la tecnologia informatica offre la possibilità di operare in modo integrato su fenomeni eterogenei, permettendo di generarne di nuovi sintetizzando le qualità estratte da altri. In questo modo si può considerare un modello come un insieme di dati: quelli acquisiti tramite operazioni di digitalizzazione<sup>16</sup> e quelli prodotti dalle elaborazioni, tra loro integrabili. Si delinea così il un modello omnicomprensivo, strutturato tramite un insieme di dati digitali, che derivano dall'elaborazione integrata di informazioni eterogenee (Fig.14; Fig. 15). Comprendere la connotazione che il termine "informazione" assume in questo contesto diventa fondamentale. Pur essendo la questione molto ampia e complessa, possiamo assumere, tra i suoi molteplici

significati, quello basato sul concetto di dato. Esso genera una parte significativa di ricchezza ed è l'elemento base del patrimonio culturale materiale, che definiamo come «manufatto o documento della memoria o identità di un gruppo sociale»<sup>17</sup>.

Lo sviluppo di operazioni volte alla tutela e alla salvaguardia del patrimonio architettonico genera immense quantità di dati, che spesso vengono archiviati acriticamente all'interno delle piattaforme digitali oggi in uso. La necessità di conservazione della nostra memoria storica si intreccia al bisogno di predisporre di uno spazio digitale adeguato all'archiviazione, la cui innovatività risiede nelle potenzialità che esso può offrire come luogo di conoscenza e alla conservazione della nostra storia. Il tema della gestione delle informazioni è quindi fondamentale in uno scenario in cui le più recenti sperimentazioni mirano alla definizione di metodi e attrezzature per la digitalizzazione del patrimonio (materiale e immateriale). Gli archivi digitali dovrebbero essere concepiti in modo da poter gestire al meglio i dati, conservandone tutte le caratteristiche

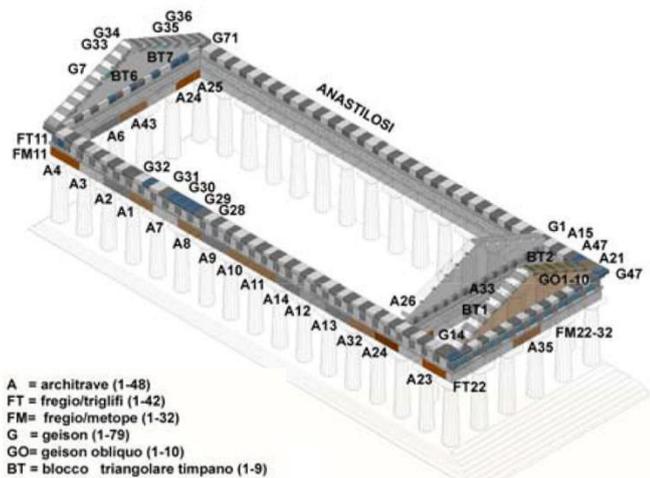
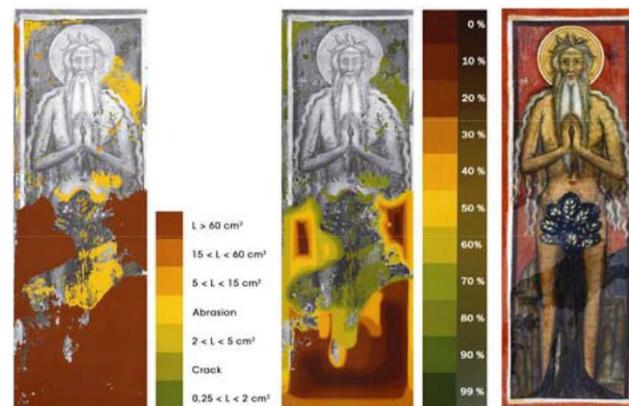
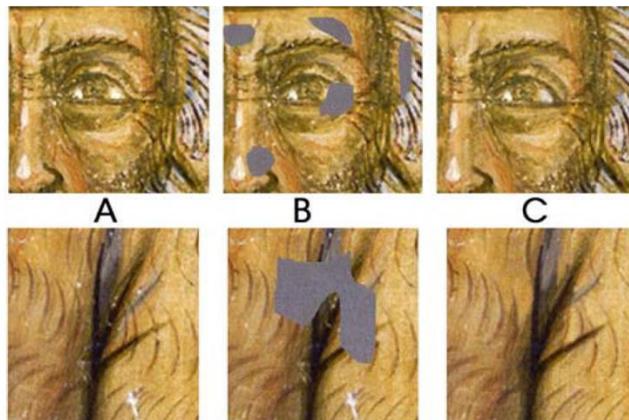


Fig. 11 La trasparenza nelle ricostruzioni archeologiche dal generale al particolare. Anastilosi virtuale del Tempio C di Selinunte (a sinistra) e prove di attendibilità dei modelli per la ricostruzione virtuale delle lacune (a destra). Immagini tratta da: Gabellone, F., 2012, pp. 102-103.

senza eventuali perdite dovute alla loro compressione, seguire delle procedure standard, essere trasparenti, essere supportati da diversi sistemi operativi. L’obiettivo da perseguire, quindi, non è solo quello di riuscire ad acquisire la maggior quantità di dato possibile, ma di renderlo fruibile anche per eventuali usi futuri, collezionandone i metadati. Il modello concettuale per la divulgazione, adeguato alla descrizione di un contesto storico, dovrebbe essere progettato ad hoc, non necessariamente seguendo la consequenzialità che il patrimonio ha assunto

storicamente, ma creando un «repository di rappresentazioni digitali di oggetti di tipologia, struttura e collocazione materiale diverse, aggregati sulla base delle relazioni che li collegano [...] il cui valore aggiunto è costituito dalla rete delle relazioni che legano i dati archiviati e dalla possibilità di compiere ricerche non solo per parole, ma anche e soprattutto per concetti. Il carattere distintivo di questo inedito tipo di biblioteca [...] è la loro marcatura semantica, attuata attraverso la costruzione di una fitta trama di link tra le informazioni. Libri, opere d’arte,

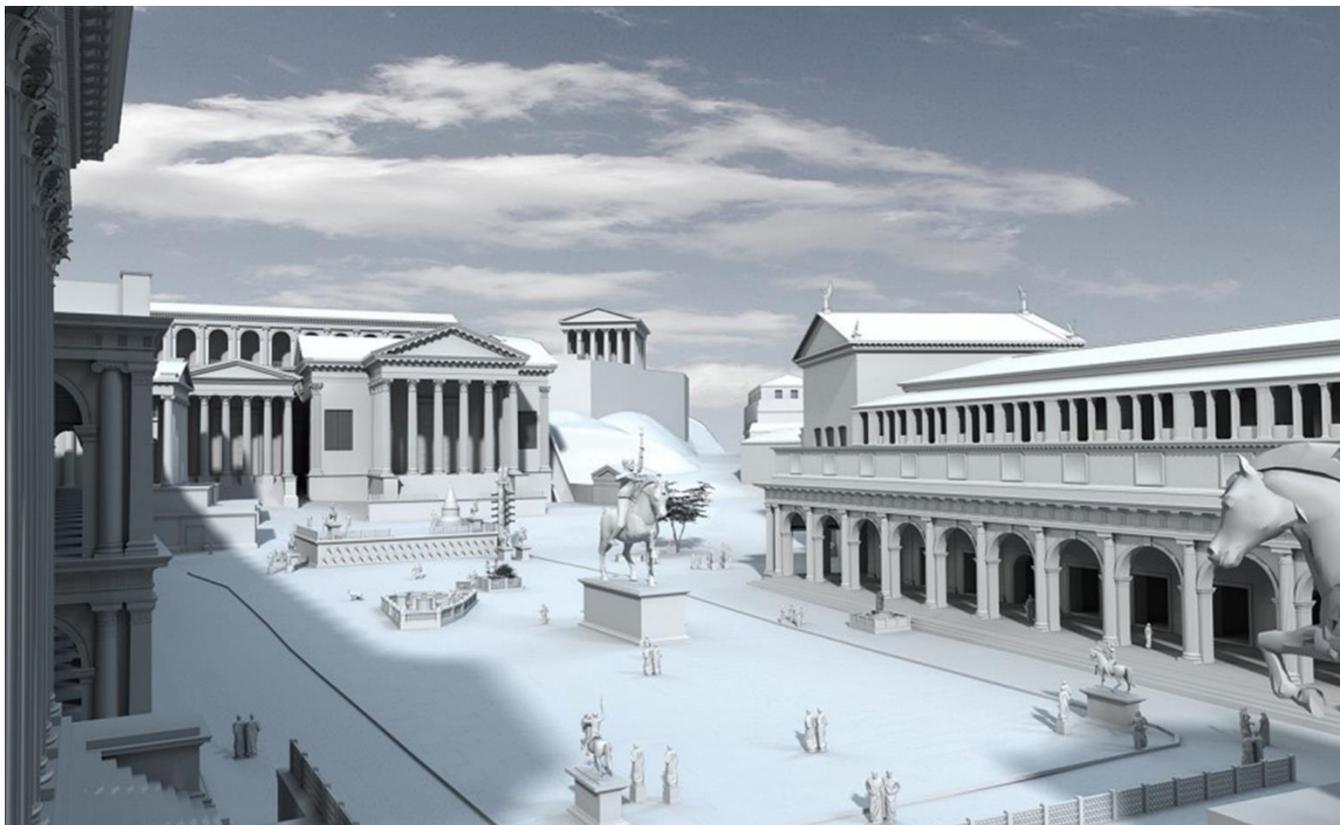


Fig. 12 Ricostruzione 3D del Foro di Augusto, ca. 14 d.C. (<http://www.digitales-forum-romanum.de/?lang=it>)



Fig. 13 Il complesso del Vaticano. Confronto tra la ricostruzione utilizzata nel videogame *Assassin's Creed Brotherhood* (a sinistra) e la ricostruzione di A. Aglietti (a destra). Immagine tratta da: Bianchini, C. 2016, p. 129.

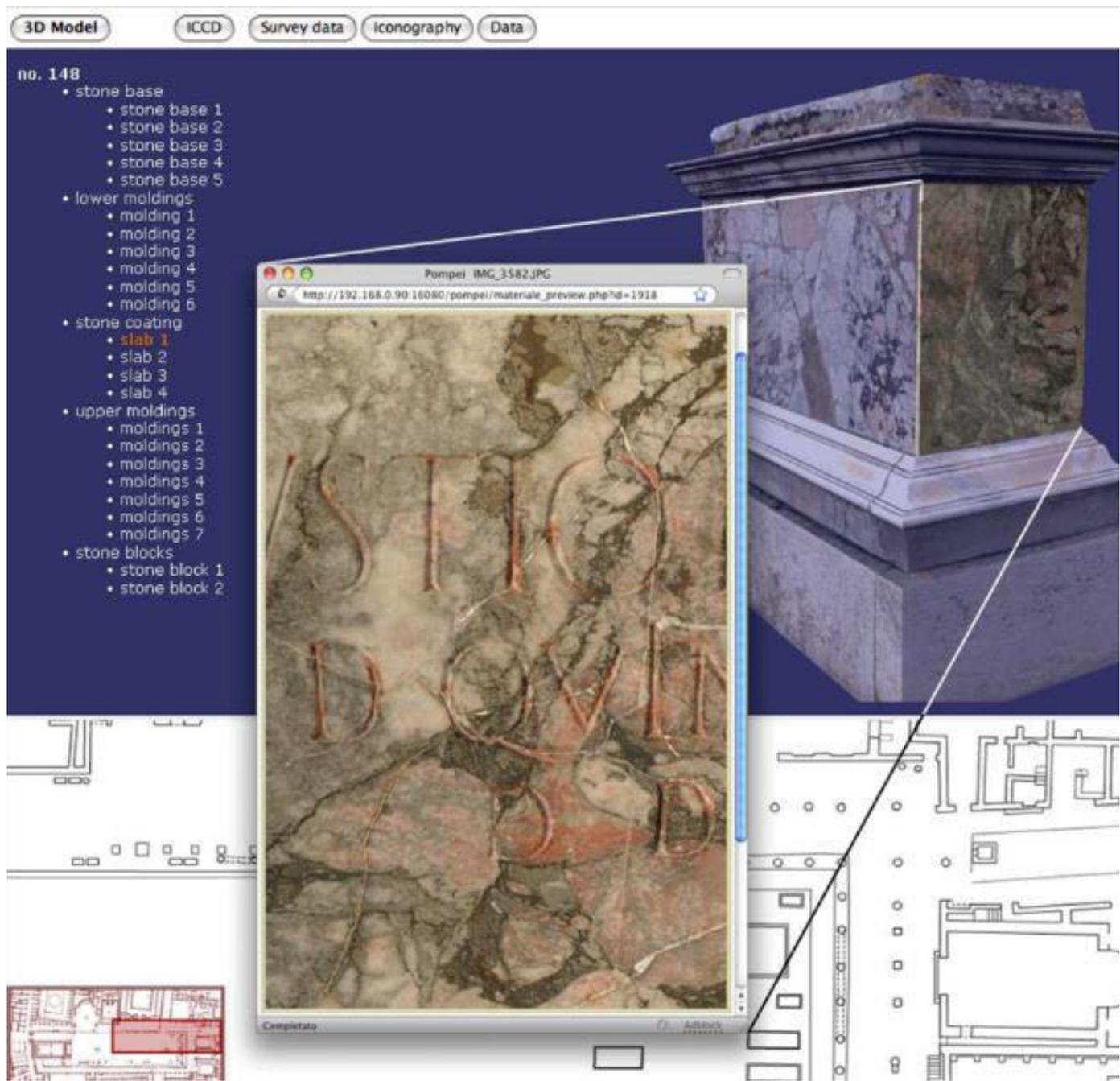


Fig. 14 Reperto n.148 del sito archeologico di Pompei, modello 3D GIS. Immagine tratta da: Gaiani et al.,2011, p. 45.

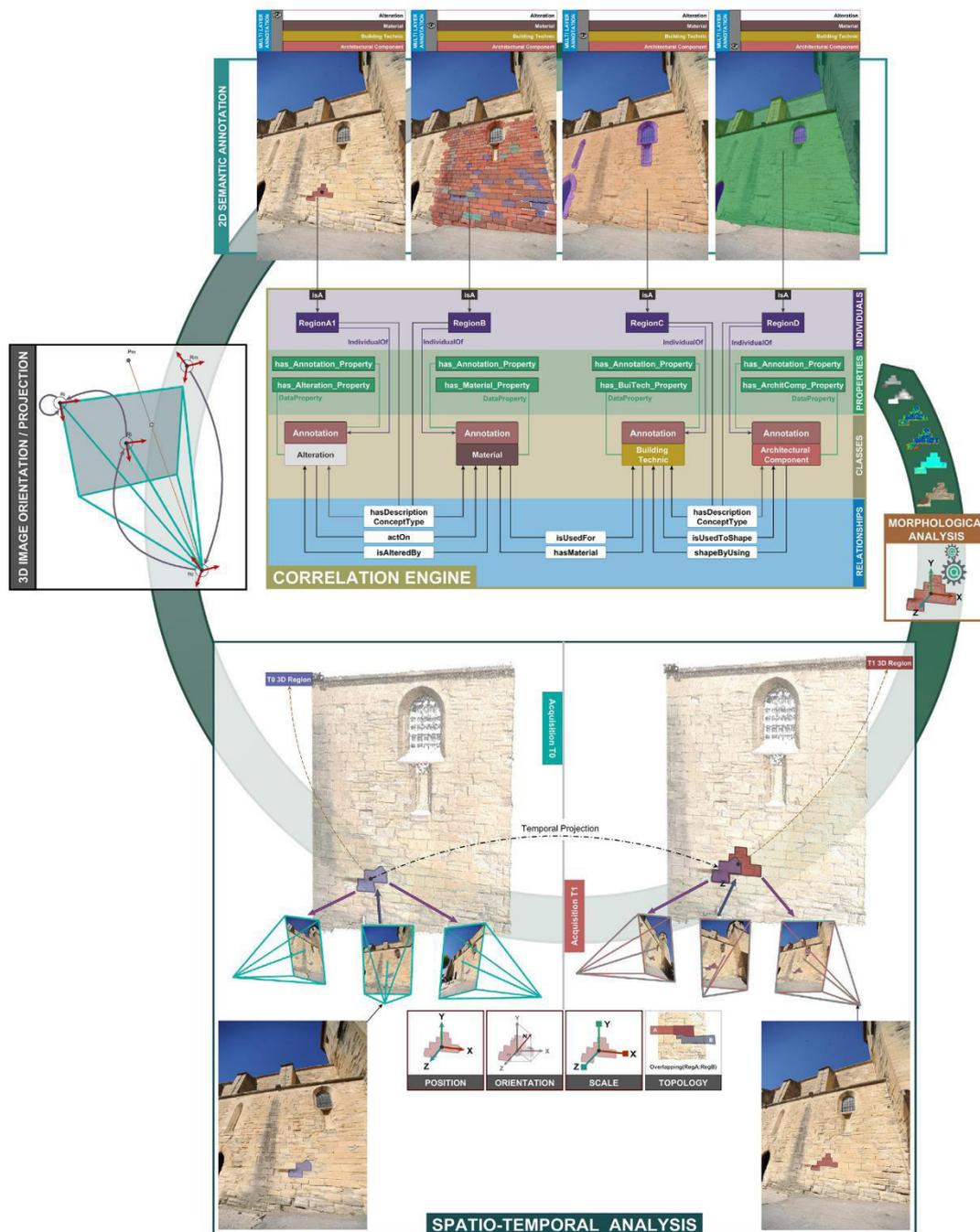


Fig. 15 Modelli digitali per la documentazione multilivello. Immagine tratta da: Messaoudia, et al., 2018, p. 103.

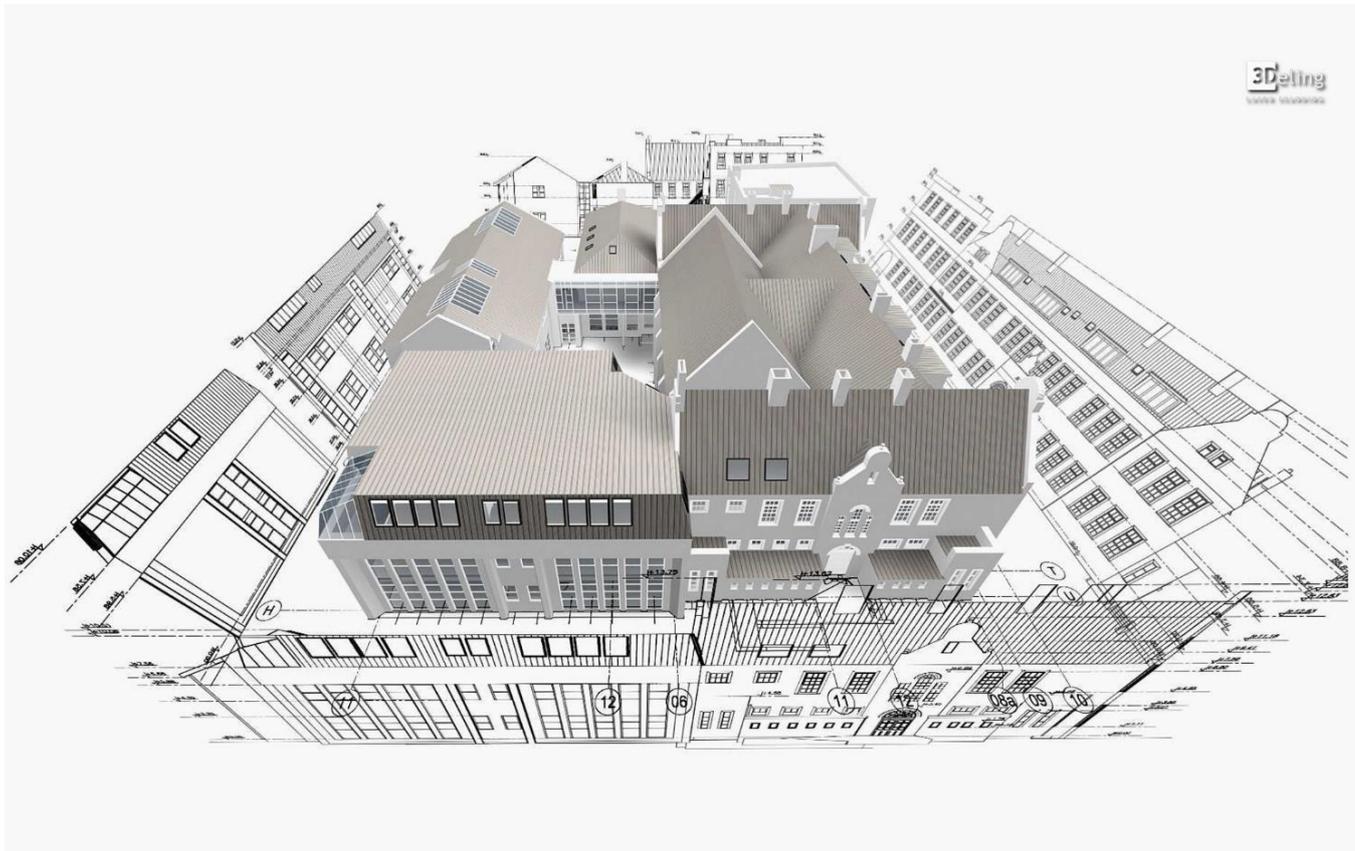


Fig. 16 Building Information Modeling. Modellazione: 3deling, New Castle School. (<https://www.3deling.com/portfolio-item/newcastle-school/>)

documenti [...], oggetti nati digitali ecc. cessano di essere entità isolate, trasformandosi in nodi di una rete di significati aperta e continuamente aggiornabile [...] Il medesimo oggetto può essere assegnato a molteplici 'classi', dall'assetto 'ibrido' e continuamente variabile»<sup>18</sup>. Nella società dell'informazione digitale, il tema della rappresentazione e del suo rapporto con la realtà descritta, assume quindi un ruolo centrale. Come asserito da Tomás Maldonado, «un forte impulso a questo fenomeno proviene dal grado di sofisticazione raggiunto dalle tecniche di modellazione della realtà, nonché dalle aspettative, più

o meno fondate, di ulteriori prodigiosi sviluppi in questo campo. Ciò nonostante, gli interrogativi che esso solleva e le opportunità che ne derivano travalicano ampiamente i confini della tecnologia»<sup>19</sup>. Le attuali possibilità di rendere il più possibile fruibili dei modelli tridimensionali si inseriscono nel contesto della presente ricerca, che assume come premesse alcuni aspetti che Maldonado definisce ampiamente. Il primo è relativo all'ambito in cui ci troviamo ad operare: «ogni civiltà ha il suo sistema di rappresentazioni e la nostra ha fatto una scelta precisa: un sistema che produce su scala planetaria immagini

destinate ad essere vissute, secondo alcuni, come più reali del reale stesso»<sup>20</sup>. Il secondo aspetto riguarda invece la modellazione, ovvero il ricorso a modelli descrittivi della realtà che ci circonda, e introduce ad una problematica ben definita, che si ripropone all'alba di ogni grande cambiamento: «qual è l'avvenire della modellazione, iconica e non-iconica<sup>21</sup>, dopo la rivoluzione informatica?»<sup>22</sup>

Il quesito citato, proposto dieci anni fa in seguito all'imperversare dei sistemi digitali e alle loro ricadute sul binomio reale/virtuale, trova delle analogie con quello che sta succedendo attualmente per i processi BIM, al punto tale che la domanda posta da Maldonado potrebbe diventare la seguente: quale sarà il futuro della modellazione dopo la rivoluzione del Building Information Modeling?

<sup>1</sup> Ugo, V. 1994, p. 11.

<sup>2</sup> Per maggiori approfondimenti su questo tema: Borsi F., *Cultura e disegno*, Libreria Editrice Fiorentina, Firenze 1965; Brusatin, M., *Disegno/Progetto*, in *Enciclopedia Einaudi, ad vocem*, vol. 4, Torino 1978, pp. 1098-1152; De Fusco R., *Il progetto d'architettura*, Laterza, Roma-Bari 1983; De Rubertis R., *Il disegno dell'architettura*, Carocci, Roma 1994; Ugo V., *Fondamenti della rappresentazione architettonica*, Esculapio, Bologna 1994.

<sup>3</sup> Già Vitruvio nel *De Architectura* (Vitruvio, X, XII, 2, VI) fornisce una descrizione del modello grafico come un sistema atto a figurare il progetto di architettura, illustrandone la componente tecnologica degli oggetti e consentendone la verifica di comportamenti statici.

<sup>4</sup> Nel caso dei modelli di architettura, due sono le tipologie di modelli elaborati con diverse finalità: quelli che si riferiscono ad una ricostruzione filologica dell'oggetto, quelli che propongono ipotesi interpretative, quelli che

Partire da questo interrogativo ci aiuterà a definire meglio le potenzialità, gli usi e gli eventuali ulteriori sviluppi che i modelli digitali possono avere nei processi condivisi di conoscenza e divulgazione dei beni culturali. Appare evidente come il primato è oggi dato alle relazioni che potenzialmente connettono i dati non più, necessariamente, in maniera gerarchica, ma secondo una logica multilivello. Proprio in questo contesto il BIM (Fig.16) viene attualmente identificato come il sistema più promettente a rispetto alla gestione di informazioni e di problemi specifici connessi al patrimonio architettonico esistente.

simulano il reale cercando di replicarlo esattamente per come è. In particolare, i modelli del primo e del secondo tipo sono per lo più modelli geometrici, vettoriali o matematici, che trovano applicazione per lo più nella costruzione di forme geometriche nello spazio tridimensionale e bidimensionale, a cui sono associate informazioni metriche, dimensionali e cromatiche. Quelli del terzo tipo si ottengono principalmente attraverso l'acquisizione e l'elaborazione di dati di rilievo 3D. La scansione tridimensionale dello spazio restituisce modelli numerici (nuvole di punti), volti a rappresentare le qualità delle superfici individuando caratteristiche metriche e cromatiche di milioni di punti su di esse. I modelli geometrici, numerici e texturizzati verranno descritti successivamente, inquadrandone le potenzialità e l'utilizzo nell'ambito del patrimonio architettonico.

<sup>5</sup> Riconoscendo il ruolo, la portata e le accezioni che il concetto di modello ideale hanno avuto nel corso della storia dell'architettura e del disegno, nel corso della presente

ricerca il termine è da intendersi come qui espressamente specificato.

<sup>6</sup> Charter on the Preservation of Digital Heritage, 2003, Art. 1.

[http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL\\_ID=17721&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=17721&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html) (luglio 2018)

<sup>7</sup> Il documento definisce il patrimonio digitale come «risorsa della conoscenza umana e della sua espressione. Esso comprende risorse culturali, educative, scientifiche e amministrative, oltre a informazioni tecniche, legali, mediche e di altro tipo create digitalmente o convertite in forma digitale da risorse analogiche esistenti».

<sup>8</sup> La possibilità di disporre del dato grezzo nel campo del rilievo offre una serie di vantaggi legati tanto alle attività di rilievo che potrebbero essere condotte successivamente, utili, ad esempio, a monitorare grandi o piccoli cambiamenti legati alla storia del manufatto considerato, quanto alla produzione di nuovi elaborati o alla verifica di quelli esistenti.

<sup>9</sup> Cfr. Glossario, p. IV.

<sup>10</sup> Per un'analisi dettagliata dello stato dell'arte riguardo il concetto di trasparenza e le sue declinazioni si veda: Stefano Brusaporci, 2017. *Digital Innovations in Architectural Heritage Conservation: Emerging Research and Opportunities*. Hershey, PA: IGI Global, pp. 50-75; Stefano Brusaporci, 2017. The importance of being honest: issue of transparency in digital visualization of architectural heritage. In Alfonso Ippolito (ed.) *Handbook of research on emerging technologies for architectural and archaeological heritage*, pp. 66-93. Hershey, PA: IGI Global; Francesco Gabellone, 2012. La trasparenza scientifica in archeologia virtuale. Commenti al Principio N.7 della Carta di Siviglia. *SCIRES-IT SCientific RESearch and Information Technology Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione* Vol 2, Issue 2 (2012), pp. 99-124; Isto

Huvila, 2012. The Unbearable Complexity of Documenting Intellectual Processes: Paradata and Virtual Cultural Heritage Visualisation. *Human IT*, vol. 12, pp. 97-110; Bentkowska-Kafel, A, Denard, H & Baker, D (eds), 2012. *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*. Ashgate Publishing; Mark Greengrass, Lorna Hughes (ed.), 2008. *The Virtual Representation of the Past*. Farnham, Ashgate Publishing.

<sup>11</sup> Per la definizione di tali concetti si rimanda al Glossario, p. III e p. V.

<sup>12</sup> Il termine *Archeologia Virtuale* è stato proposto da Paul Reilly nel 1990, riferendosi all'uso di modelli 3D di monumenti e oggetti archeologici. Con gli anni 2000, il termine si evolve verso il concetto di simulazione: non si tratta solo di una semplice riproduzione digitale di un artefatto, di un monumento o di un sito, ma è un processo simulativo in cui vari elementi come comportamenti, oggetti, ecosistemi, possono essere combinati e attraverso i quali si possono identificare differenti livelli informativi. Tra il 2008 e il 2010, si è andato delineando il concetto di *Cyber-Archaeology*, in cui sono predominanti lo sviluppo di ambienti collaborativi come *Second Life*, l'integrazione dei social network e il focus su connessioni e relazioni nello spazio digitale. L'Archeologia Virtuale ci consente oggi di trattare in maniera interattiva informazioni, come dati di scavo e documenti derivanti dalle ricerche, che altrimenti sarebbero difficili da osservare poiché comprensibili unicamente dagli studiosi, tramite modelli e simulazioni tridimensionali. Può quindi essere definita come un vero e proprio ambito di ricerca il cui principale campo di applicazione riguarda la ricostruzioni di edifici, artefatti, oggetti del passato, non più esistenti o esistenti ma non visitabili, attraverso modelli tridimensionali, ipertesti, soluzioni multimediali.

<sup>13</sup> Per una maggiore conoscenza dell'argomento si veda: Enrico Zanini, Francesco Ripanti, 2012. Pubblicare uno scavo all'epoca di Youtube: comunicazione archeologica, narratività e video. *Archeologia e Calcolatori*, n. 23, pp. 7-

30; Maurizio Forte, 2010. *Cyber Archaeology*, Oxford: 4edge; Bernard Frischer, Anastasia Dakouri-Hild, 2008. *Beyond Illustration: 2d and 3d Digital Technologies as Tools for Discovery in Archaeology*. Oxford: Archaeopress; Maurizio Forte (a cura di), 2007. *La villa di Livia. Un percorso di ricerca di archeologia virtuale*. Roma. L'erma di Bretschneider; Gaiani, M., Gamberini, E., Tonelli, G., Bonfigli, M. E., Calori, L., Guidazzoli, A., Brunelli, D., Farella, E., Benini, L., Riccò, B., 2007. *Realtà Virtuale come strumento di lavoro per il restauro Architettonico e Archeologico: il 3D Virtual GIS "La Via Appia antica*. In *Atti della giornata di studi internazionale UT NATURA ARS. Virtual Reality e archeologia. Studi e Scavi* (n.22), Imola, Bologna, University Press, pp. 107-114; Sofia Pescarin, 2006. *Open Source in archeologia. Nuove prospettive per la ricerca. Archeologia e Calcolatori*, n. 17, pp.137-155; Moser, S., 2001. *Archaeological representation: the visual Conventions for constructing knowledge about the past*. In Hodder, I., *Archaeological Theory Today*. Cambridge: K Polity Press, pp. 262-283; Barcelo, J., Forte, M., Sanders, D., 2000. *Virtual reality in archaeology*. Oxford: ArchoPress; Forte, M., Beltrami, R., 2000. *A proposito di virtual archaeology: disordini, interazioni cognitive e virtualità. Archeologia e Calcolatori*, 11, pp. 273-300.

<sup>14</sup> L'esempio più significativo in tal senso è la Carta di Londra del 2009 (<http://www.londoncharter.org/>). Il documento, riconoscendo l'importanza dei modelli tridimensionali nel campo dei beni culturali, nasce con l'obiettivo di definire principi relativi all'uso dei metodi di visualizzazione tridimensionale in relazione all'integrità intellettuale, all'affidabilità, alla trasparenza, alla documentazione, e alle possibilità di accesso ai dati. Gli articoli 4 e 5, in particolare, dopo aver trattato il concetto di trasparenza spigandone l'importanza, affrontano una delle questioni fondamentali della visualizzazione tridimensionale e quindi della modellazione: quella del livello di dettaglio. Si riconosce infatti come *i requisiti relativi alle informazioni di trasparenza potrebbero variare con l'aumento dei livelli e della sofisticazione di*

*comprensione dei particolari metodi di visualizzazione tridimensionale, e da comunità a comunità* (art.5). Un altro tema significativo che emerge dalla lettura degli articoli precedentemente citati è il livello di approfondimento dei contenuti dei modelli in relazione a chi ne fruisce. L'argomento è centrale in questo contesto e meriterebbe senza dubbio una trattazione a sé stante; tuttavia, il tema della presente ricerca implica l'esclusione di utenti generici nella conoscenza e nell'utilizzo di modelli costruiti tramite processi BIM.

Per approfondire tali argomenti, si veda: Alfonso Ippolito, Francesco Borgogni. 2011. *I modelli 3D nei rilievi di architettura*. In Emanuela Chiavoni, Monica Filippa, Mario Docci (a cura di) *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*. Roma: Gangemi Editore, pp. 71-77; Abram Moles, 1972. *Teoria informazionale dello schema. Versus*, 2, pp. 29-37.

<sup>15</sup> Valenti, G.M., 2004, p. 61.

<sup>16</sup> Valenti definisce la digitalizzazione come «l'operazione di conversione di un fenomeno fisico nella sua rappresentazione numerica». Il focus prevalente di questa operazione si trova nell'acquisizione (misura) delle qualità del fenomeno analizzato e nella loro registrazione in forma numerica. (Valenti, G.M., 2004, p. 60).

<sup>17</sup> Unesco, 2005. *Toward Knowledge Societies*, p. 22. La definizione di patrimonio culturale materiale è affiancata a quella di patrimonio culturale immateriale, definito nella medesima citazione come tutte le «pratiche, rappresentazioni, espressioni, conoscenze e i saperi – così come gli strumenti, gli oggetti, i manufatti e gli spazi culturali associati ad essi – che le comunità, i gruppi e, in alcuni casi, gli individui riconoscono come facenti parte del loro patrimonio culturale. Tale patrimonio culturale intangibile, trasmesso di generazione in generazione, è costantemente ricreato dalle comunità e dai gruppi interessati in conformità al loro ambiente, alla loro interazione con la natura e alla loro storia, e fornisce loro un

---

senso di identità e continuità, promuovendo così il rispetto per la diversità culturale e la creatività umana».

<sup>18</sup> Definizione tratta dalla voce *biblioteca virtuale* dell'Enciclopedia Treccani Online [http://www.treccani.it/enciclopedia/biblioteca-virtuale\\_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/biblioteca-virtuale_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/)

<sup>19</sup> Maldonado, 2007, p. 9.

<sup>20</sup> Maldonado, 2007, p. 17.

<sup>21</sup> Proprietà che le diverse parti del linguaggio possiedono di raffigurare come un'immagine o un'icona, i valori semantici, cioè i significati, che veicolano. Il concetto di livelli di iconicità, introdotto nel campo del graphic design può essere definito come livello di somiglianza tra oggetto reale e sua rappresentazione. Anceschi e Moles individuavano 13 livelli di iconicità con all'estremo superiore l'oggetto stesso raffigurato e a quello inferiore le descrizioni verbali.

<sup>22</sup> Maldonado, 2007, p. 104.



## 2. Processi BIM per i beni architettonici

### *2.1 Il contributo dei processi BIM nella costruzione di modelli del patrimonio costruito*

Molti progetti riguardanti la protezione, la conservazione, il restauro e la divulgazione di beni culturali vengono portati avanti in tutto il mondo per il ruolo preminente che assumono nello sviluppo socio-economico. Realizzare modelli digitali tridimensionali sempre più precisi dal punto di vista dell'accuratezza metrica e più completi dal punto di vista della qualità delle informazioni è una necessità che impone la revisione e il continuo aggiornamento degli strumenti di lavoro. Il settore dell'industria delle costruzioni ha adottato il BIM per le sue capacità di pianificazione e controllo di diverse tipologie di interventi in modo decentralizzato. Questo vantaggio ha influenzato anche la modalità di relazionarsi al patrimonio culturale esistente, la cui complessa attività di gestione ha portato a riconsiderare il concetto di Heritage BIM, che persegue la modellazione di elementi architettonici in conformità alle loro caratteristiche costruttive e storico-artistiche. I beni culturali materiali, in particolare quelli immobili, quali monumenti, complessi architettonici, siti archeologici, costituiscono il principale campo di applicazione di questo nuovo approccio. In questo contesto appare chiaro che il modello 3D digitale debba essere

considerato come il quadro di riferimento per la comprensione e il monitoraggio dell'esistente e la predisposizione di interventi futuri. Ciò impone l'esigenza di avere una base di dati che comprenda un'ampia documentazione grafica, testuale, tecnica, storica e semantica, che per molti edifici storici risulta essere lacunosa o frammentaria, comportando una gestione inefficiente del progetto, influenzando tempi e costi dei processi di manutenzione, adeguamento, ecc.. Colmare la mancanza di informazioni influirebbe in maniera positiva sull'efficienza dei processi HBIM che, da un punto di vista metodologico, perseguono diversi obiettivi: la costruzione di modelli, la definizione di database informativi per edifici storici, la possibilità di monitorare lo stato di fatto e i fenomeni di degrado, la valutazione degli effetti di diverse tipologie di interventi. Emergono quindi i vantaggi dell'utilizzo dei processi BIM nel campo del Cultural Heritage: la capacità di raccogliere, archiviare informazioni storico-culturali per meglio comprendere come agire nella pianificazione di interventi e nella gestione dei manufatti; la possibilità di interazione con i dati di rilievo per facilitare le operazioni volte a modificare o implementare, in qualsiasi momento e da parte di qualsiasi operatore, informazioni legate allo stato attuale di differenti elementi. Tuttavia, affinché tali processi siano effettivamente più efficaci rispetto all'utilizzo dei modellatori tradizionali, occorre

risolvere alcuni temi da un punto di vista più strettamente operativo. Le questioni a cui si fa riferimento riguardano la mancanza di una completa interoperabilità tra i sistemi BIM e quelli di rilevamento, che si esprimono, da una parte, nella complessità della gestione di dati di grandi dimensioni (in termini di file), dall'altra, nella difficoltà di restituire le peculiarità e i dettagli che rendono unici gli elementi di edifici storici, di cui viene privilegiata la semplificazione geometrica. La necessità di affrontare questi aspetti e ottimizzare il processo di produzione di modelli del patrimonio architettonico diventa importante non solo per una corretta rappresentazione dello stato di fatto, ma anche per una completa comprensione della logica gerarchica tra le parti del monumento che caratterizza il rapporto tra passato, presente e futuro.

## ***2.2. La relazione con i dati di rilievo***

Esiste ormai una letteratura consolidata secondo la quale, oggi, tutte le operazioni che hanno come scopo la conoscenza di manufatti esistenti siano sempre più legate all'utilizzo di tecnologie integrate per l'acquisizione massiva di punti<sup>1</sup>. I dati ottenuti vengono formalizzati in prima battuta tramite modelli numerici, poi, attraverso la loro elaborazione, in modelli 3D mesh, texturizzati o non, o in modelli 2D. Entrambe le casistiche sono caratterizzate dal passaggio da un modello numerico, acriticamente descrittivo della realtà, ad altre tipologie di modelli, in cui le scelte dello studioso risultano fondamentali affinché emergano particolari aspetti del manufatto, coerenti con gli obiettivi del rilievo. Tali procedure risultano, pertanto, il frutto di una serie di operazioni tutt'altro che automatiche ma che costituiscono un quadro di riferimento che lega le la fase di

acquisizione dei dati (rilevamento) alle modalità con cui invece si realizza l'analisi dell'oggetto studiato (rilievo). La definizione di una metodologia per passare da un modello numerico ad un modello parametrico (Fig. 2.1), costruito secondo la logica BIM, è ancora un terreno da esplorare, in cui le sperimentazioni sono sempre più frequenti. La sempre crescente necessità di archiviare informazioni e costruire modelli del patrimonio architettonico esistente ha spinto gli studiosi a testare differenti piattaforme BIM che mostrano ancora ancora profonde limitazioni, non tanto nell'integrazione tra le tipologie di dato, quanto nella gestione del processo semiautomatico che consente di transitare dal modello numerico, la nuvola di punti, al modello parametrico (Fig. 2.2). Questo passaggio consiste nella costruzione di elementi architettonici più o meno articolati, attraverso la ricostruzione dell'identità semantica, e garantendo la corrispondenza con l'oggetto reale e con gli aspetti metrico-dimensionali. La complessità di tali operazioni può essere compresa in maniera più dettagliata se si pensa alla natura del dato di rilievo in relazione alle possibilità offerte dagli strumenti e dai software attuali. I modelli numerici descrivono, con un livello di dettaglio più o meno accurato, le superfici degli elementi intercettati dal raggio laser nel caso di scansione laser 3D, o acquisite attraverso immagini fotografiche nel caso di Structure from Motion<sup>2</sup>. Allo stato attuale, le nuvole di punti si limitano a registrare lo stato di fatto esprimendone le caratteristiche geometriche, cromatiche e materiche. Per avere informazioni che descrivano gli oggetti da un punto di vista topologico e semantico è necessario produrre altre tipologie di modelli, come quelli geometrici o quelli parametrici. Si tratta, in buona sostanza, di condurre operazioni di reverse engineering, in cui la lettura e la segmentazione/frammentazione della



*Fig. 2.1 Processo Scan to BIM: dal modello numerico al modello parametrico. Lime architecture, 2017. Modello di una chiesa esistente. (<http://lime-architecture.co.uk/blog/scan-bim-model/>)*

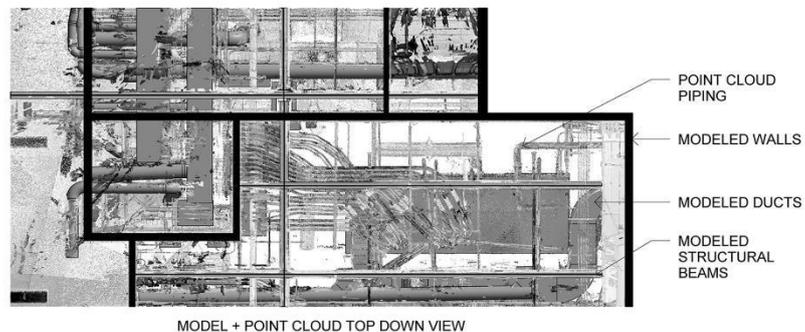
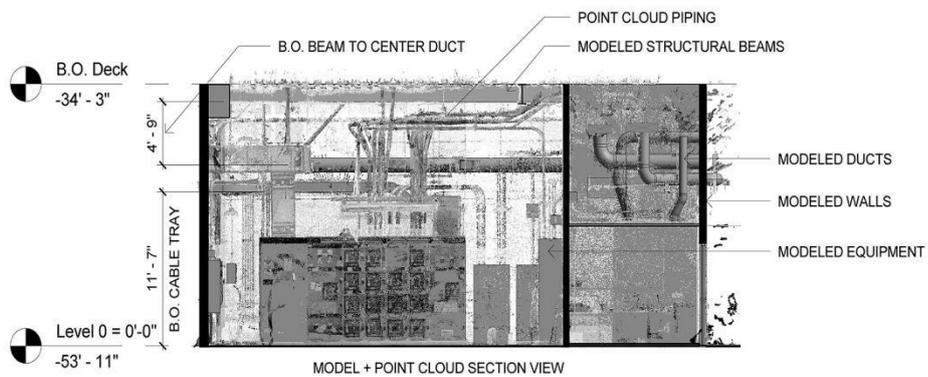
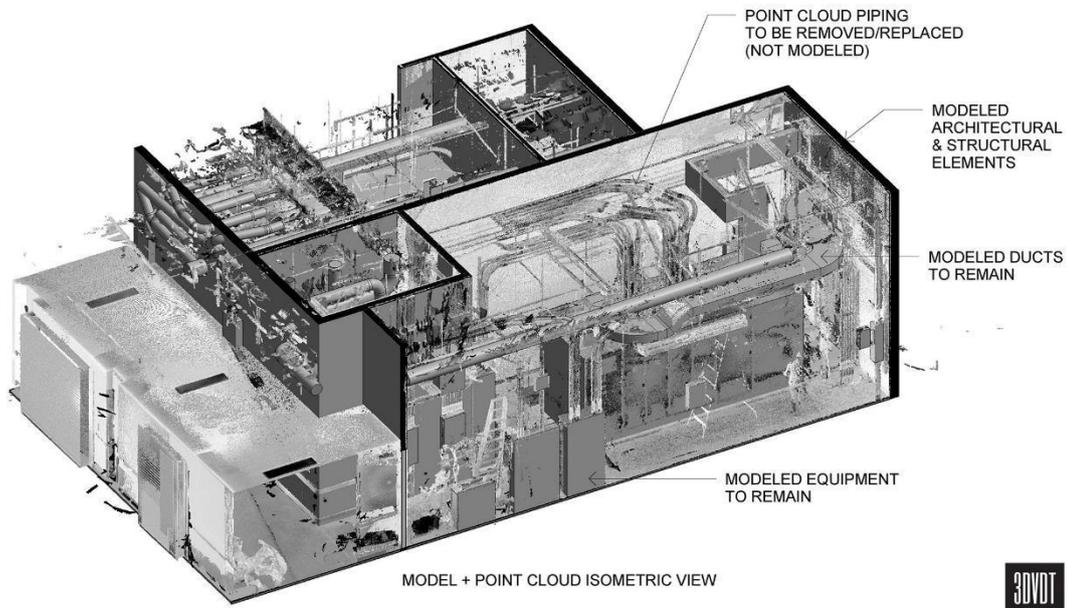


Fig. 2.2 Processo Scan to BIM: come si agisce sul modello numerico. 3DVT, 2017. (<https://3dvd.com/3d-point-cloud-bim-model/>)

nuvola di punti dopo averne riconosciuto regioni caratteristiche, rappresentano i passaggi fondamentali per identificare i confini delle superfici ed agevolare il processo modellazione. Queste attività vengono svolte in modo semiautomatico o completamente automatico, attraverso i progressi raggiunti dai sistemi a cui si appoggiano i processi BIM.

Il processo semi-automatico è guidato dall'utente sotto forma di sezioni, estrazione di profili ed estrusioni di facce realizzate sulla nuvola di punti. In linea di principio, si utilizzano strumenti per configurare manualmente una serie di livelli e di piani di sezione orientati rispetto al sistema di riferimento relativo  $xyz$ , a cui si riferiscono le coordinate geometriche delle nuvole di punti. Questi elementi costituiscono il punto di partenza per la modellazione degli elementi rilevati e delle loro componenti architettoniche, le cui informazioni restano comunque legate al modello numerico che viene considerato come riferimento esterno. Il processo, sebbene ancora laborioso e piuttosto lungo principalmente a causa dei vincoli e delle geometrie complesse da rintracciare nelle nuvole di punti, risulta essere prezioso per documentare e diffondere informazioni relative a edifici esistenti. Una delle prime applicazioni è il *plug-in* Green Spider<sup>3</sup>, sviluppato da Simone Garagnani nel 2012<sup>4</sup>, con l'obiettivo di implementare l'utilizzo dei modelli numerici all'interno dell'ambiente BIM di Autodesk Revit<sup>5</sup>, favorendo un approccio integrato alla modellazione. L'applicativo consente di importare nuvole di punti decimate, con il vantaggio di connetterne le primitive e trasformare i singoli elementi in *snaps* utilizzabili per una definizione delle geometrie attraverso operazioni di *overlay* (Fig. 2.3). Le operazioni del secondo tipo, invece, totalmente automatiche, vengono svolte con l'ausilio di un algoritmo. Recentemente, diverse ricerche nel settore

dell'HBIM, condotte sia in ambito accademico, sia nel campo professionale, hanno indagato la ricostruzione automatizzata di edifici esistenti a partire da modelli numerici, cercando elementi per implementare l'efficacia delle piattaforme utilizzate. All'interno del panorama accademico, le ricerche maggiormente significative<sup>6</sup> hanno sperimentato l'uso di algoritmi per estrarre automaticamente le caratteristiche geometriche degli elementi attraverso la segmentazione delle nuvole di punti. Nel lavoro di Wang et al. (2015), un primo algoritmo viene strutturato con l'obiettivo di separare, a partire dal dato grezzo – la nuvola di punti registrata – le porzioni della stessa che si trovano tutte su uno stesso piano. Successivamente viene introdotto un altro algoritmo, per identificare i confini e definire la forma e le dimensioni delle superfici, generando poligoni in corrispondenza del contorno di ciascuna regione riconosciuta. Gli approcci

di Jung et al., e Hong et al. (2016) usano l'algoritmo di campionamento RANSAC<sup>7</sup> per ottimizzare la segmentazione automatica dei piani murari evidenti all'interno delle nuvole di punti ed estrarre i componenti di ciascuna superficie di cui, successivamente, vengono tracciati i confini. Ciò avviene prima filtrando i punti che non appartengono al piano precedentemente individuato, poi costruendo i confini di regioni piane, che verrà utilizzata come riferimento per la modellazione di solidi parametrici. Il problema principale di Zheliazkova et al., (2015) riguarda l'uso dell'algoritmo Pivoting-Ball (BPA)<sup>8</sup> per creare mesh e poligoni chiusi a partire dalle nuvole di punti. Altri algoritmi, studiati da Lou (2015) per identificare e classificare gli oggetti all'interno dei modelli numerici, sfruttano il riconoscimento del colore attraverso immagini spettrali. Nonostante i progressi raggiunti, questi approcci non

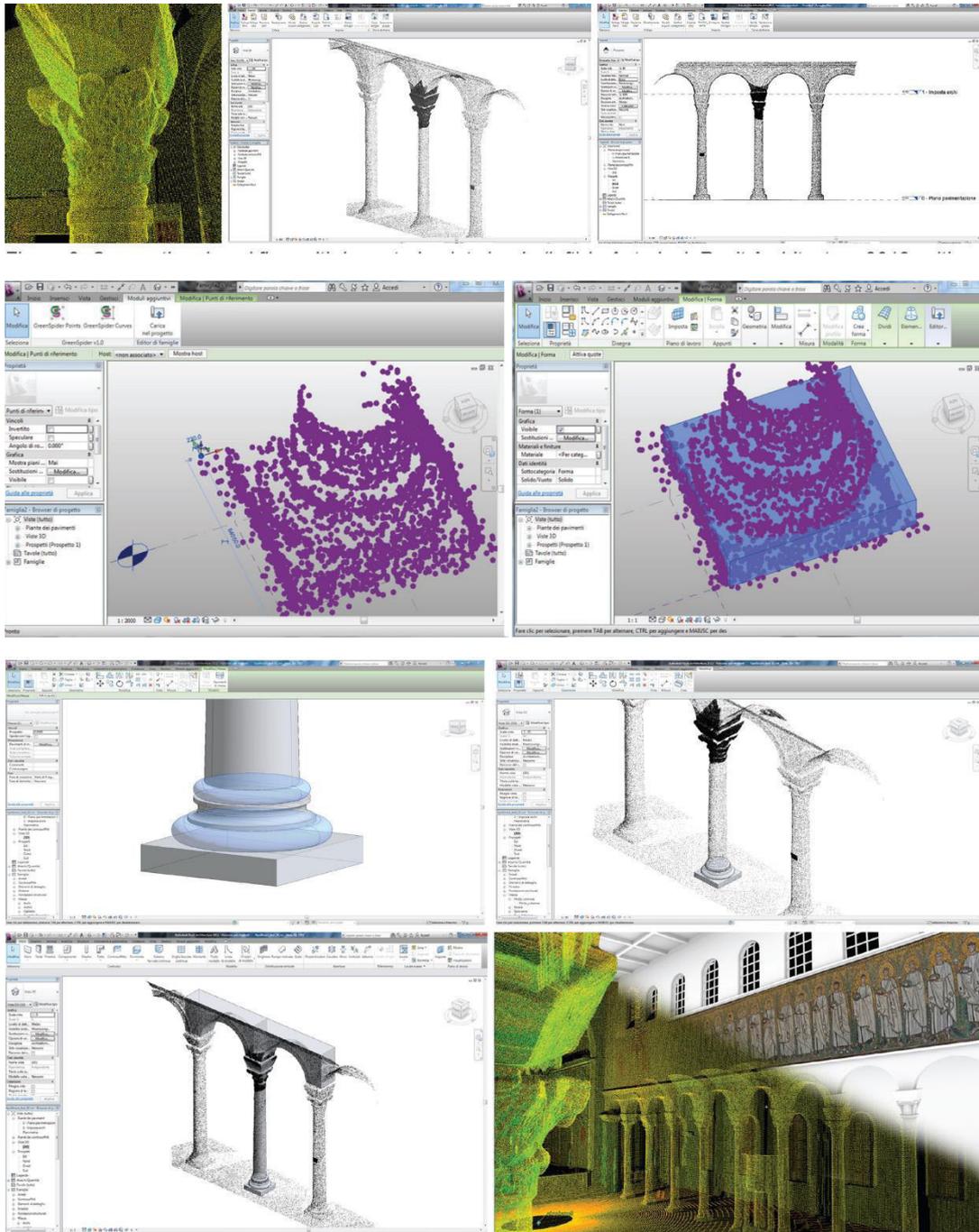


Fig. 2.3 Processo Scan to BIM: sperimentazioni per il passaggio semiautomatico dalla nuvola di punti al modello parametrico con il plug in Green Spider. Immagini tratte da: Garagnani & Manfredini, 2013, pp.87-92.

automatizzano la gestione di nuvole di punti nei processi cosiddetti *Scan-to-BIM*. Ciò che è possibile definire sono comunque modelli, prima 3D, poi 2D, in cui la trasformazione di elementi di architetture complesse in entità volumetriche semantiche è ancora agli inizi.

Un altro punto di vista è quello della ricerca svolta dalle società produttrici di software commerciali, che ha portato allo sviluppo di nuovi *plug-in*, *tools* e soluzioni per automatizzare il passaggio dal modello numerico, importato all'interno di piattaforme BIM, a un modello geometrico, riducendo drasticamente la quantità di tempo necessario per creare un modello dai dati della nuvola di punti. Tra questi si segnalano EdgeWise<sup>9</sup> e Scan-to-BIM, di IMAGINiT Technologies<sup>10</sup>, entrambi sviluppati come componenti esterni del software Autodesk Revit. Il primo è stato progettato per estrarre informazioni e oggetti da nuvole di punti in modo automatico, senza dover rimodellare gli elementi; il secondo, che trova le maggiori applicazioni nel campo dell'ingegneria meccanica, elettrica ed idraulica, identifica, posiziona e collega condutture e tubi da una nuvola di punti a un modello creato con Autodesk Revit, permettendo di effettuare rapidamente eventuali modifiche.

L'esame dei progressi raggiunti in campo accademico e lavorativo mostra che è stato fatto un grande passo verso l'automatizzazione del processo di modellazione da *point-cloud*. Tuttavia, i processi in atto presentano alcune limitazioni nell'utilizzo per la modellazione del cosiddetto *as-built*, principalmente perché, al momento, la lettura e l'interpretazione dei dati qualitativi di uno spazio o di un oggetto sono attività quotidiane per l'architetto, ma molto difficili per i computer. Inoltre, gli algoritmi e i *plug-in* dei software risultano facilmente applicabili per la segmentazione e la modellazione automatica delle

nuvole di punti che descrivono superfici piane o geometrie primitive, ma generano risultati errati e inaccurati quando si tenta di rappresentare geometrie complesse e irregolari degli edifici storici.

### ***2.3. Approccio metodologico e operatività del processo***

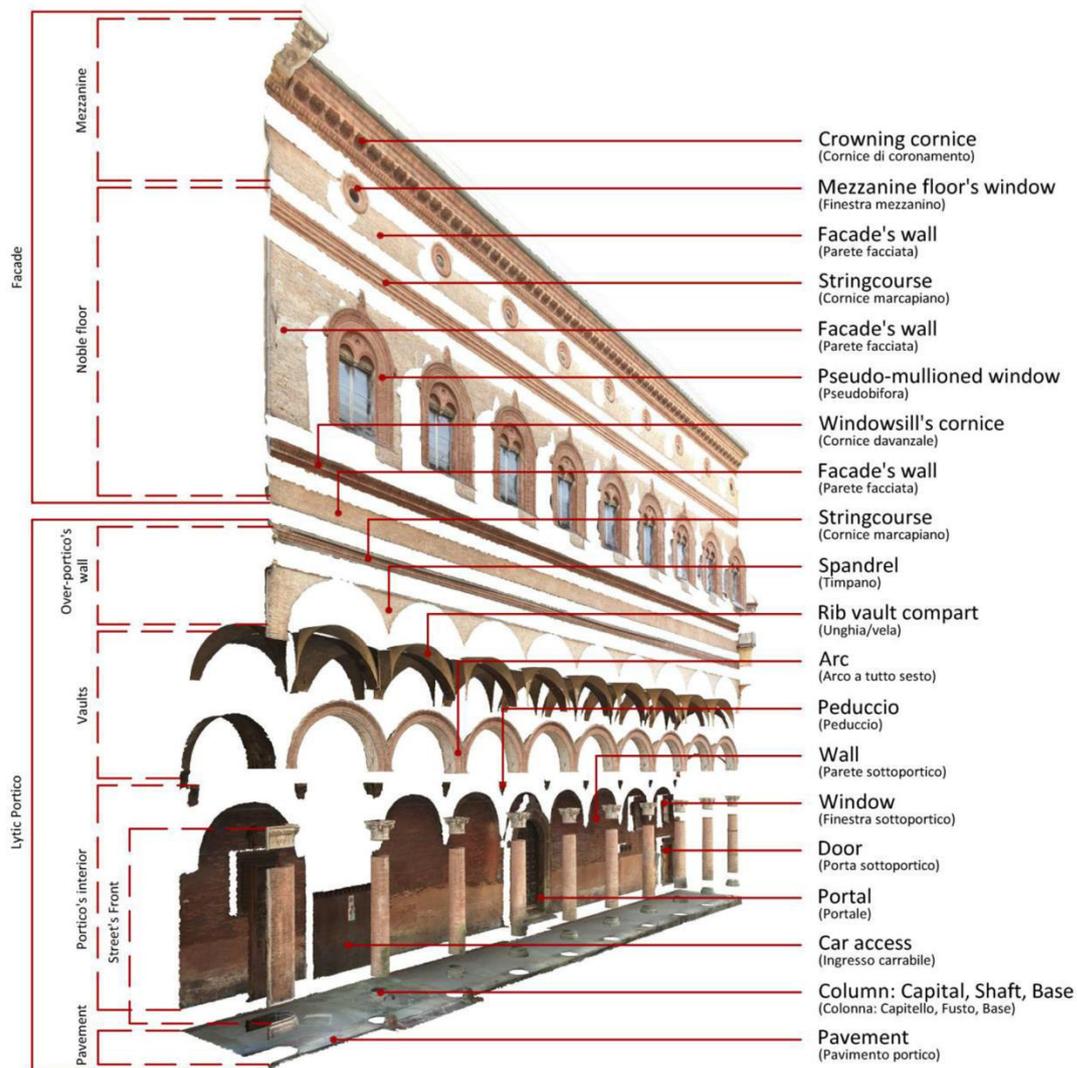
La scelta di orientare la ricerca sul BIM e al campo dell'architettura esistente prevede l'utilizzo di strumenti precisi che consentano di documentare i manufatti e gli elementi che li compongono secondo il piano storico-artistico e della tipologia costruttiva, oltre che su quello geometrico-morfologico. Il processo HBIM, che è stato appositamente sviluppato per preservare il patrimonio culturale proponendone la gestione in ambito digitale, si appoggia ad elementi che, da una parte, risultano rigorosi, sia rispetto alle premesse concettuali su cui si fondano, sia alle modalità pratiche di funzionamento. Dall'altra, invece, le nuvole di punti, che registrano lo stato di fatto, e le librerie<sup>11</sup>, usate per la costruzione di modelli, si prestano ad un utilizzo comunque flessibile e tale da essere adatto ad una molteplicità di casi studio vasti ed eterogenei. La modellazione 3D di qualsiasi artefatto implica una composizione organizzata e ordinata di elementi digitali ma, quando applicato all'HBIM, deve andare oltre il *workflow* tipico della modellazione tridimensionale, ponendosi l'ambizioso scopo della migliore corrispondenza possibile tra l'oggetto reale e il modello virtuale. Tale obiettivo, sebbene le numerose sperimentazioni in corso mostrino differenti approcci alla costruzione di modelli dal punto di vista operativo, più che da quello teorico, rende necessario strutturare diverse fasi che concorrono a definire e ottimizzare il flusso di lavoro.

La prima fase, conoscitiva, riguarda la raccolta di dati di rilievo, dati semantici e dati tipologici. La sintesi quanto ottenuto dall'acquisizione e dall'attento esame della documentazione storica consente di definire spazialmente le parti visibili delle superfici, riconoscere i materiali che le caratterizzano, scoprire le regole costruttive e le trasformazioni che, in passato, hanno coinvolto l'edificio analizzato<sup>12</sup>. L'importanza dell'aspetto conoscitivo si rivela fondamentale anche per i componenti delle librerie HBIM: sviluppare i dettagli memorizzati dietro le superfici degli oggetti parametrici, riguardanti i materiali e i componenti della costruzione, i loro aspetti culturali e la memoria storica, inserendo dati temporali per rappresentare gli eventi che si sono verificati durante l'intero ciclo di vita dell'edificio, fornisce una lettura più approfondita dello stato di conservazione e favorisce lo sviluppo di un più adeguato programma di manutenzione. L'utilizzo di tali dati costituisce, inoltre, un'ottima modalità per archiviare una documentazione tecnica aggiornata, e comunque implementabile, composta da modelli (3D, 2D, generali e di dettaglio) su cui è possibile effettuare modifiche in modo molto rapido. Questo dà luogo alla generazione di modelli digitali di progetti, edifici e oggetti con caratteristiche architettoniche, stilistiche e formali simili, avvicinandosi ad una soluzione per la modellazione di reverse engineering basata sull'ottimizzazione di parametri e tempi di lavoro<sup>13</sup>.

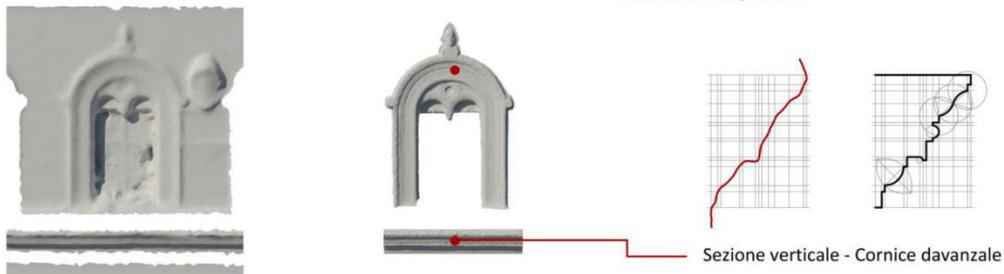
Nella seconda fase, che potremmo definire di filtro, si crea un processo ontologico<sup>14</sup> utilizzato come base per la conoscenza di tutte le informazioni semantiche raccolte. La definizione delle ontologie può essere sviluppata nella rappresentazione degli oggetti a partire direttamente dalla nuvola di punti, in modo automatico o manuale<sup>15</sup>, integrando così modelli numerici e parametrici in ambiente BIM.

La terza fase, quella della modellazione vera e propria, che inizia a partire da modelli numerici e dati semantici, consiste prima nella segmentazione e nella delimitazione di porzioni della nuvola di punti, sulla quale vengono riconosciuti gli elementi da modellare (Fig. 2.4). Successivamente, viene verificata la possibilità di utilizzare librerie di oggetti preimpostati, modificandoli, o se ne costruiscono delle altre appositamente legate al caso di studio analizzato. Le librerie costituiscono la base per la gestione e l'interconnessione delle informazioni con altri dati e le fonti di provenienza grazie all'interoperabilità tipica delle piattaforme BIM. L'interoperabilità facilita l'analisi storica della struttura, le simulazioni energetiche, il calcolo di tempi e costi di realizzazione di eventuali interventi e altre funzioni che miglioreranno il modo di gestire la manutenzione degli edifici in esame.

La consequenzialità dei tre momenti in cui si articola la costruzione di un modello HBIM parte da alcune considerazioni che riguardano nello specifico più la logica costitutiva del processo che la modellazione vera e propria. L'idea di procedere integrando due strumenti per la rappresentazione semantica dell'esistente, il BIM e l'ontologia, nasce dalla consapevole impossibilità di ottenere una coincidenza assoluta tra questi due sistemi descrittivi e quello relativo alla realtà materiale delle fabbriche realizzate. La necessità di conoscere a fondo un manufatto per poterlo modellare attraverso processi BIM, che presuppongono la definizione ben precisa di contenuti, oltre che di aspetti legati alla forma, ha indotto gli studiosi a parlare di riconoscimento ontologico delle parti<sup>16</sup>, estendendo un concetto di matrice filosofica all'ambito informatico e all'ambito dei beni culturali e architettonici<sup>17</sup>.



Palazzo Felicini - Segmentation



Sezione verticale - Cornice davanzale

Fig. 2.4 Dal modello numerico al dato semantico. Immagini tratte da: Fallavollita et al., 2015, pp. 35.

L'ontologia, definita letteralmente come scienza dell'essere, consente di organizzare le conoscenze in una forma concettualmente efficace orientandosi in una società dell'informazione sempre più complessa, decisamente trasformata dall'avvento della cultura digitale. Il suo uso in chiave moderna costituisce lo strumento per qualificare il significato delle informazioni (semantica) e i loro componenti costitutivi (dati) massimizzandone la riutilizzabilità e l'interoperabilità all'interno di oggetti e modelli digitali. Impiegare l'ontologia come soluzione aggiuntiva nelle piattaforme informatiche significa formulare una concettualizzazione esaustiva e rigorosa di entità, relazioni, regole e vincoli nell'ambito di un dato dominio, formalizzandoli attraverso linguaggi semantici rispondenti alle leggi della logica formale. La semantica così messa a punto per una rappresentazione di tipo concettuale, viene applicata a caratteristiche specifiche riconosciute sugli oggetti reali che costituiscono il patrimonio architettonico esistente. I sistemi BIM, invece, sono stati ideati per consentire la rappresentazione tridimensionale dell'oggetto – in genere un'architettura – e per georeferenziare su tale rappresentazione altre possibili informazioni non graficizzabili. Tale operazione è consentita attraverso l'impiego di famiglie di elementi che possono essere preventivamente configurate (comprehensive di tipi e componenti) o appositamente costruite secondo criteri prestabiliti; ogni elemento del modello appare collegato agli altri attraverso la definizione di specifiche proprietà.

Perseguire l'obiettivo di una corrispondenza tra questi due elementi il più possibile ampia consente di raggiungere migliori modalità progettuali e gestionali per la conservazione dell'architettura. Associare l'ontologia, che costituisce una modalità di

rappresentazione empirica e non visuale dell'esistente, ai processi BIM, fondati sull'utilizzo di sistemi a base grafica caratterizzati da una forte capacità descrittiva basata su vincoli prestabiliti, consente di «raffinare la capacità di rappresentazione dell'esistente, avvicinando maggiormente la capacità descrittiva del modello virtuale alla realtà concreta dell'oggetto considerato»<sup>18</sup> (Fig. 2.5).

#### *2.4. Esperienze di organizzazione e sistematizzazione di dati*

Nei paragrafi precedenti si è indagato in merito all'importanza delle costruzioni di modelli HBIM e alle premesse concettuali che pongono le basi per la definizione di un flusso di lavoro piuttosto articolato e non sempre definito rispetto agli obiettivi prefissati. La complessità dell'applicazione di questi processi nasce da due ordini di problemi. Il primo riguarda l'eterogeneità del patrimonio costruito, che impone la definizione di protocolli strutturati e misurati rispetto alle caratteristiche dei manufatti studiati; il secondo è legato al voler estendere un processo che nasce per altri scopi allo studio dell'esistente. Come tutte le novità, infatti, un po' come accadeva negli anni '90 per l'avvento dei sistemi CAD o degli strumenti per la scansione laser 3D, è importante capire non tanto se è possibile applicare una nuova metodologia alle esigenze contingenti, ma come applicarla. Uno degli obiettivi della ricerca, intesa nell'accezione generale del termine e non con particolare riferimento al lavoro presentato, è quello di adeguarsi ai continui avanzamenti tecnologici considerandone le implicazioni teoriche e proponendone l'implementazione superando i limiti di processi ormai consolidati. Nello specifico, gli studiosi coinvolti nell'ambito dell'HBIM affrontano attualmente la

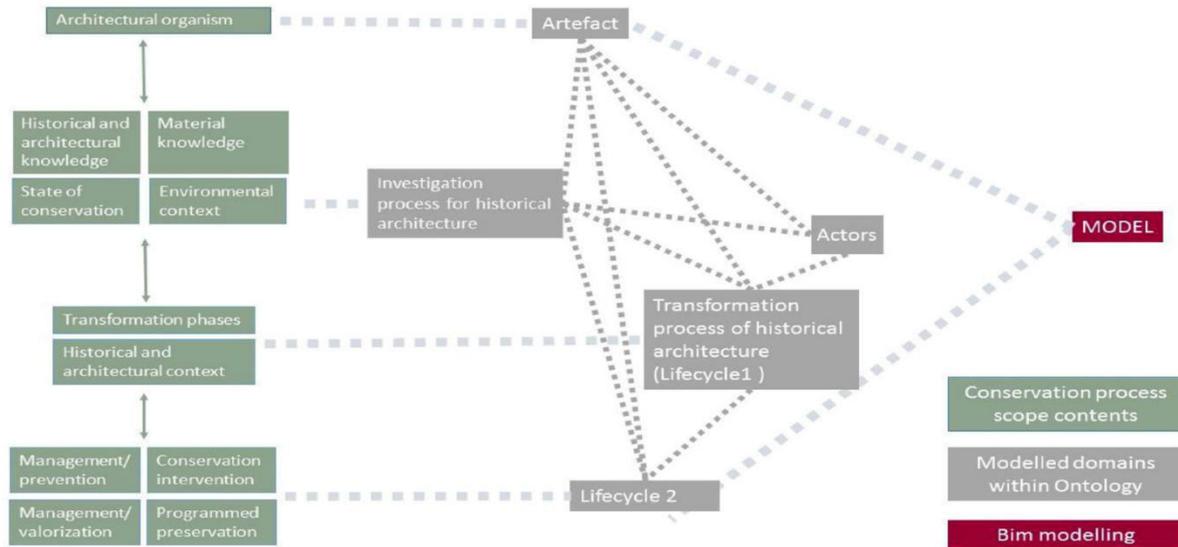


Fig. 2.5 Una proposta di approccio metodologico: il Conservation Process Model. Immagine tratta da: Fiorani & Acierno, 2017, pp. 286.

necessità di vedere tali modelli tra quelli che, di fatto, occorrono alla gestione del patrimonio culturale. Le questioni approfondite sono legate alla rappresentazione del modello BIM e di dati multidisciplinari che non siano di natura strettamente geometrica o figurativa, alle differenze sostanziali, metriche e non, tra i dati da acquisizioni massive e quelli necessari per poter definire compiutamente gli oggetti digitali parametrici del modello virtuale, alla scala del modello tridimensionale e ai principi di modellazione secondo differenti livelli di dettaglio.

Di seguito vengono analizzati differenti studi che hanno sviluppato metodi e utilizzato tecnologie differenti per la modellazione tridimensionale di edifici storici esistenti e l'uso di componenti parametriche, o parametrizzabili. Un'attenta analisi della letteratura esistente, ma anche delle ricerche ancora in corso – essendo l'argomento centrale nel nostro settore scientifico disciplinare – mostra come la modellazione BIM applicata al patrimonio

architettonico sia impostata secondo diverse modalità e approcci. Riconoscerli ha consentito di analizzare le strategie messe in atto rispetto agli obiettivi, al grado di automazione dei processi, alla tipologia di applicativi utilizzati. Una accurata ricognizione bibliografica ha consentito di distinguere i lavori esaminati individuando diverse tipologie rispetto all'approccio seguito.

La prima categoria comprende quegli studi che hanno adottato solo piattaforme commerciali che utilizzano processi BIM per sviluppare modelli di architetture esistenti e creare librerie composte da oggetti parametrici; la seconda categoria riguarda le ricerche che combinano i sistemi BIM, sviluppati tramite piattaforme commerciali, con altri strumenti ausiliari (*tools* o *plug-in*) per la modellazione e lo sviluppo di modelli virtuali, includendo software open source o commerciali per l'archiviazione e la gestione di dati, ad esempio sistemi GIS; nella terza categoria rientrano le ricerche che utilizzano applicativi web per la

divulgazione di modelli 3D. Questa sezione, in particolare, contiene alcuni riferimenti a sperimentazioni che non sempre utilizzano processi BIM per la modellazione di elementi esistenti ma con cui, tuttavia, si possono trovare punti di contatto. Prima di passare in rassegna alcune tra le ricerche più significative (Fig. 2.6), occorre sottolineare che, sebbene siano stati identificati diverse modalità di approccio al tema, è possibile riconoscere una matrice comune a tutte le ricerche esaminate: l'interazione tra le tecnologie per l'acquisizione massiva e la modellazione parametrica, e la descrizione di librerie HBIM come strumento di progetto per la documentazione e la manutenzione del *Cultural Heritage*.

### Modelli HBIM

Le ricerche appartenenti alla prima categoria hanno come obiettivo la costruzione di modelli HBIM che in alcuni casi descrivono il caso studio analizzato in maniera complessiva, in altri si occupano anche della creazione delle relative librerie. Sebbene i software utilizzati siano spesso diversi (Autodesk Revit o Graphisoft Archicad), ciò che accomuna le diverse ricerche è la metodologia con cui è stato trattato il dato di rilievo: i tagli, le sezioni, e la definizione di livelli sui modelli numerici hanno consentito di accelerare e ottimizzare le operazioni di modellazione parametrica. Tuttavia, la maggior parte dei casi analizzati non dichiara quale sia stato il livello di automatizzazione del processo, il che rende difficile comprendere come implementare i processi di gestione. Vengono invece spiegate le operazioni condotte per la creazione di una libreria HBIM, che prende avvio dalla modellazione tridimensionale di oggetti parametrici su nuvole di punti realizzata attraverso le primitive fornite dalla piattaforma utilizzata, e procede integrando la

documentazione relativa alla cronologia della vita dei manufatti. Due sono i problemi che sorgono dall'analisi di diversi casi: l'integrazione tra i diversi formati, risolta attraverso il linguaggio GDL<sup>19</sup> dello *script* incluso nei software, e la modellazione di forme irregolari che vengono trasformate in superfici NURBS e sottoposte ad operazioni booleane all'interno di altri applicativi, dopo averne identificato il profilo sul modello numerico importato in ambiente BIM. Il processo descritto è sviluppato da López et al., (2017) per modellare la chiesa romanica di Santa María la Real de Mave, Palencia, Spagna (Fig. 2.7). La creazione della libreria dedicata ha previsto, in prima battuta, la raccolta di informazioni sullo spazio costruito e sulla sua struttura semantica, poi l'elaborazione e l'organizzazione dei dati ottenuti. Le sezioni del modello numerico e l'ausilio delle griglie, appositamente posizionate considerando le caratteristiche predefinite dell'oggetto, le regole e gli schemi costruttivi del periodo architettonico a cui appartiene l'edificio, hanno permesso di creare superfici omogenee e non particolarmente articolate. Per quelle più complesse, invece, è stato rintracciato prima il profilo dei componenti su un piano (bidimensionale), poi trasformato in solido (tridimensionale) tramite le funzioni per la modellazione.

Un criterio analogo è seguito da Del Giudice e Osello, (2013) e Biagini et al. (2016) nel processo di modellazione virtuale basato sull'integrazione di diversi elementi direttamente sul modello numerico. Il punto di forza di questi studi non risiede nella creazione di librerie, che infatti non vengono sviluppate, ma nell'approccio al calcolo temporale, efficace per l'organizzazione e il controllo di progetti per la gestione del patrimonio. Brumana et al., (2013) e Fai & Sydor (2013), hanno

utilizzato un flusso di lavoro simile per il collegamento tra nuvole di punti e strumenti per la modellazione in ambiente BIM, sottolineando come le problematiche fondamentali risiedano nell'individuazione e nella separazione delle componenti da modellare a seconda della loro tipologia, della gerarchia e del materiale, e nella mancanza di strumenti flessibili, efficaci nella modellazione di edifici storici. Ma et al. (2015) (Fig. 2.8), Achille et al. (2015), Cheng et al. (2015), Adami et al. (2016) (Fig. 2.9) descrivono come la modellazione 3D di componenti architettonici dalle caratteristiche peculiari possa aiutare gli studiosi a conoscere informazioni su ogni elemento reale migliorando i processi di manutenzione, gestione e restauro dell'intero manufatto.

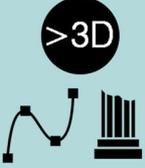
Dall'esame di questi lavori si evince che implementare i processi di modellazione, in particolare se si utilizza un approccio semi-automatico, richiede molto tempo. Ciò costituisce, ancora oggi, un punto di debolezza nella struttura di una metodologia soprattutto perché gli strumenti software non sono stati ancora ottimizzati per la conversione automatica delle nuvole di punti in componenti BIM.

#### HBIM e tools ausiliari

La necessità di risolvere i problemi derivanti dalla modellazione di elementi complessi del patrimonio architettonico ha orientato una serie di studi verso l'utilizzo di strumenti ausiliari, che influenzano il processo di modellazione, ponendosi come fattore differenziale nei casi studio analizzati. Dore et al. (2015), basano la modellazione virtuale delle quattro corti a Dublino sulla documentazione storico bibliografica, analisi dello stato di fatto e sulla lettura di aspetti specifici componendo una libreria di oggetti parametrici grazie al *plug-in* GDL 3D Ruled. Gli

elementi della libreria vengono costruiti seguendo due differenti metodologie: la prima, utilizzata per componenti regolari, si affida ai documenti d'archivio per la comprensione di forme e geometrie; la seconda, messa a punto per oggetti complessi o irregolari, prevede operazioni di editing del modello numerico attraverso la definizione di regioni e tagli a diversi livelli.

Lo studio di Nieto et al. (2016) propone invece un processo innovativo per la catalogazione e la valutazione di informazioni su manufatti dalla complessità piuttosto elevata, perché a cavallo tra l'architettura e l'archeologia. L'analisi dei dati inizia con la definizione di griglie sulle superfici da analizzare per lo studio dei cambiamenti che i diversi elementi hanno subito nel tempo. Altri autori, come Oreni et al. (2016, 2017) (Fig. 2.10) e Barazzetti et al. (2015) promuovono la struttura di librerie HBIM per analisi di tipo strutturale, che analizzano nel dettaglio elementi di cui è necessario conoscere la geometria e, soprattutto, le variazioni nella ripetizione di componenti simili. Un altro approccio per la una modellazione accurata è presentato da Quattrini et al. (2015). Il lavoro presentato è interessante perché, a differenza di quelli precedentemente citati, considera il modello numerico come fonte di informazioni nella sua complessità. Esso, pertanto, non viene sezionato o frammentato, e la modellazione di componenti avviene direttamente sul dato grezzo, garantendo qualità e precisione nella modellazione delle geometrie regolari, costruite utilizzando le librerie di elementi parametrici di Autodesk Revit, e quelle complesse, vengono create attraverso operazioni di B-Rep<sup>20</sup>. Un ulteriore *plug-in open source*, Protégé, viene poi utilizzato per integrare i dati parametrici con ciascun elemento modellato.

anno	tema di ricerca	caso studio	gruppo di ricerca	software	metodologia
2017	BIM per restauro dopo il sisma	Chiesa di Santa-Maria, Portonovo, Italia	Quattrini et al.		
2017	workflow per la gestione di modelli integrati	edifici San Diego, California	Hess et al.		
2017	workflow da modello numerico a modello BIM	Santa Maria La Real De Mave, Spagna	Lopez et al.		
2016	workflow per la gestione del patrimonio costruito	Old Jeddah, Arabia Saudita	Baik et al.		
2016	workflow analisi del patrimonio architettonico	Padiglione Carlo V, Spagna	Nieto et al.	GRAPHISOFT ARCHICAD	
2016	BIM per restauro dopo il sisma	Basilica di Collemaggio, Italia	Oreni et al.		
2016	modelli intetgrati per la gestione del patrimonio	Chiesa a Galvagnina, Italia	Rechichi et al.	 BIM3DSG	

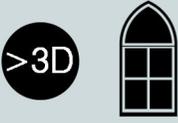
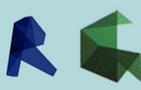
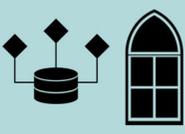
### Legenda

-  HBIM
-  HBIM + tools ausiliari
-  modelli / HBIM per il web

 editing/creazione famiglie

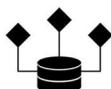
 dati m

Fig. 2.6 Esperienze di sistematizzazione e modellazione di dati eterogenei.

anno	tema di ricerca	caso studio	gruppo di ricerca	software	metodologia
2015	gestione modelli 3D online	Ruthwell Cross	Callieri et al.	3DHop	
2015	modelli integrati per la gestione del patrimonio	Basilica di San Marco a Venezia, Italia	Fregonese et al.		
2015	workflow BIM per il restauro	architetture in Taiwan, Cina	Ma et al.		
2013	database elementi architettonici	volte Chiesa di Santa Maria, Italia	Brumana et al.		
2013	gestione modelli 3D online	Tomba etrusca, Italia	Jimenez et al.	Nubes	
2013	BIM per la gestione del patrimonio architettonico	Politecnico di Torino, Italia	M. Del Giudice A. Osello		
2013	gestione modelli integrati per l'archeologia	Complesso di Shawbak, Giordania	Pruno et al.	applicativo per visualizzazione nel web (non specificato)	



multidimensionali



ontologie



profili da modello numerico e modellazione parametrica

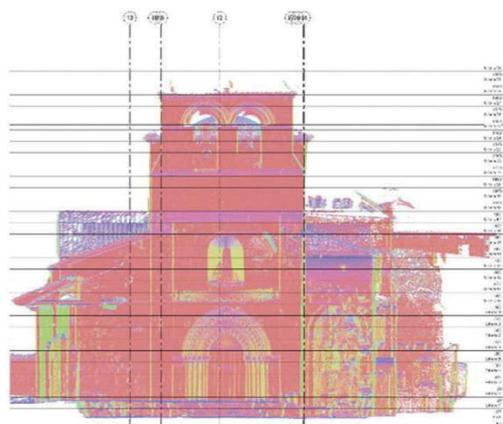
1

Rilievo



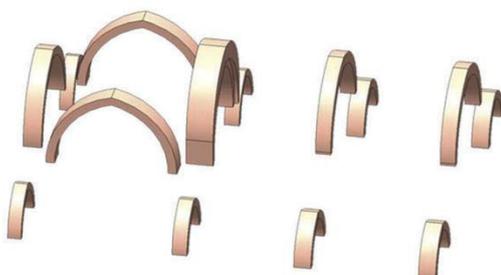
2

Definizione di assi e griglia sul modello numerico



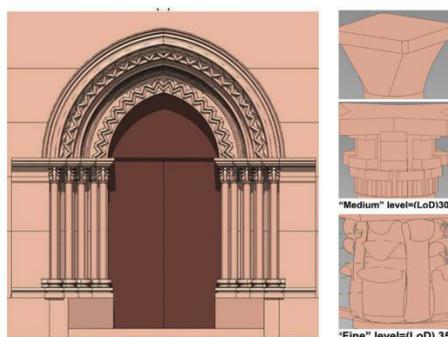
3

Analisi del dato di rilievo per le costruzioni geometriche degli elementi del complesso



4

Aumento del livello di dettaglio per la caratterizzazione di elementi architettonici



Caso studio: Santa Maria La Real De Mave, Spagna

Gruppo di lavoro: F. José López, P. M. Leronés, J. Llamas, J. G. García-Bermejo & E. Zalama

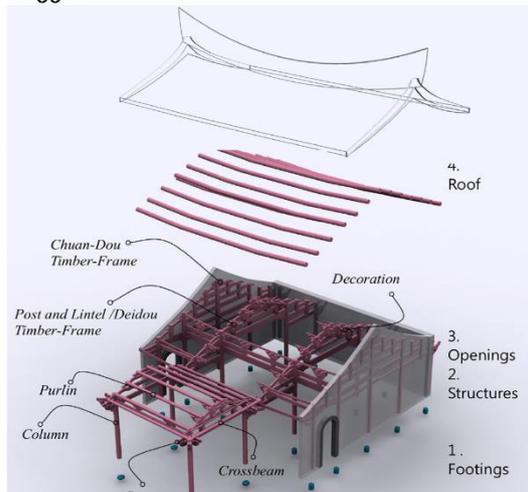
Riferimento bibliografico: Facundo José López, Pedro M. Leronés, José Llamas, Jaime Gómez-García-Bermejo & Eduardo Zalama (2017) A Framework for Using Point Cloud Data of Heritage Buildings Toward Geometry Modeling in A BIM Context: A Case Study on Santa Maria L. Real De Mave Church, International Journal of Architectural Heritage, pp.965-986.

1

Fig. 2.7 Tavole sinottiche di processi BIM per la costruzione di modelli di architetture storiche.

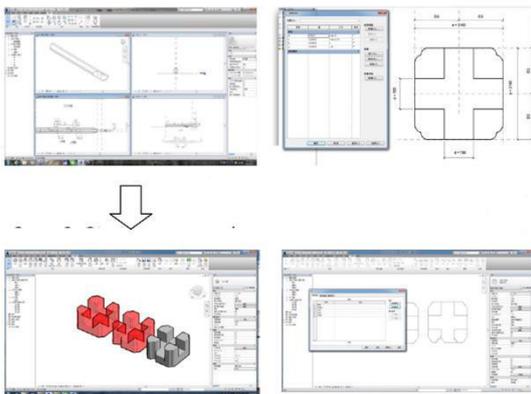
1

Scomposizione dell'architettura in categorie e oggetti



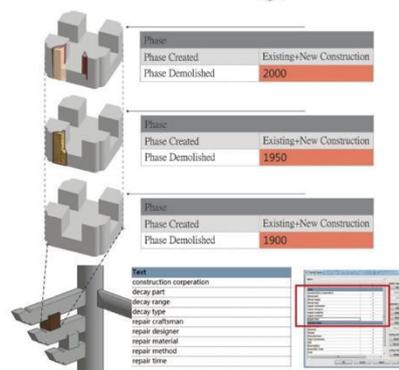
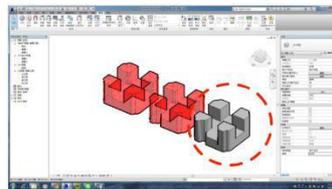
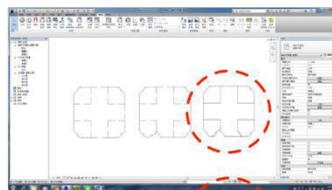
2

Modellazione parametrica degli elementi



3

Sovrapposizione di diversi modelli parametrici rispetto alle fasi costruttive



Caso studio: architetture storiche a Taiwan

Gruppo di lavoro: Y.-P. Ma, C. C. Hsu, M.-C. Lin, Z.-W. Tsai, J.-Y. Chen

Riferimento bibliografico: Ma, Y. P., Hsu, C. C., Lin, M. C., Tsai, Z. W., & Chen, J. Y. (2015). Parametric Workflow (BIM) for the Repair Construction of Traditional Historic Architecture in Taiwan. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(5), pp. 315-322.

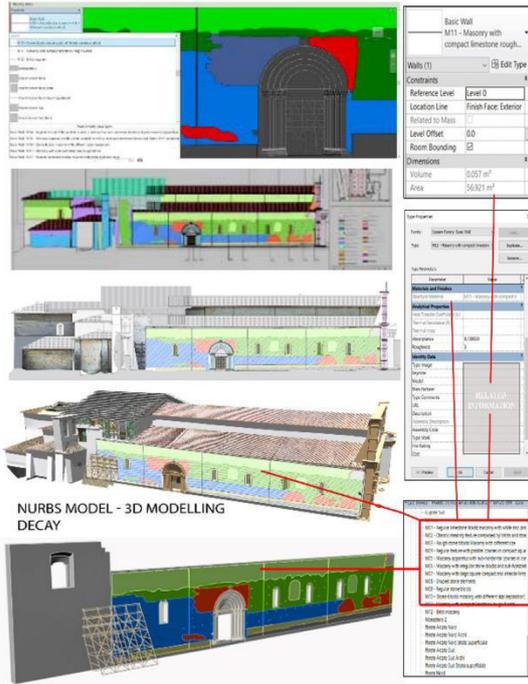
2

Fig. 2.8 Tavole sinottiche di processi BIM per la costruzione di modelli di architetture storiche.



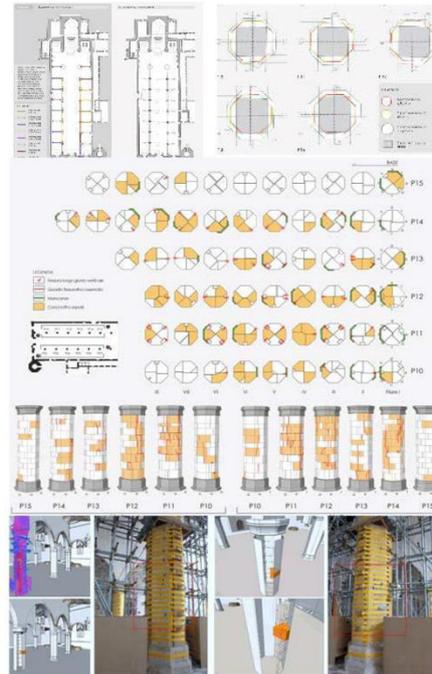
1

Rilievo, mappa del degrado e modellazione



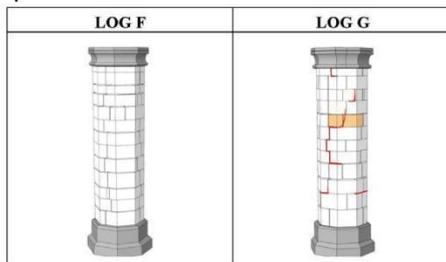
2

BIM per analisi diagnostiche



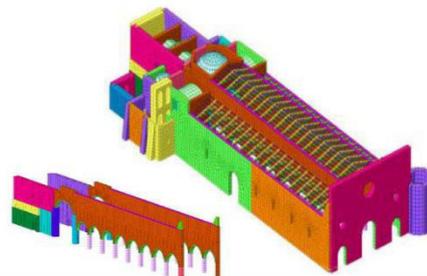
3

LOD per il restauro



4

Analisi strutturali



Caso studio: Basilica di Collemaggio, Italia

Gruppo di lavoro: D. Oreni, R. Brumana, S. Della Torre, F. Banfi, M. Previtali.

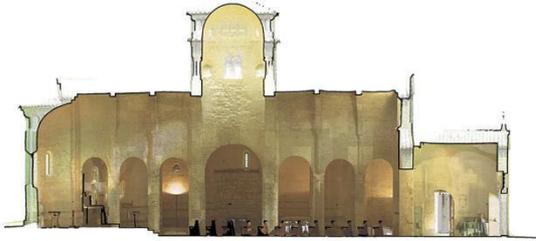
Riferimento bibliografico: Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., & Previtali, M. (2014). Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2(5), pp. 97-104.

4

Fig. 2.10 Tavole sinottiche di processi BIM per la costruzione di modelli di architetture storiche.

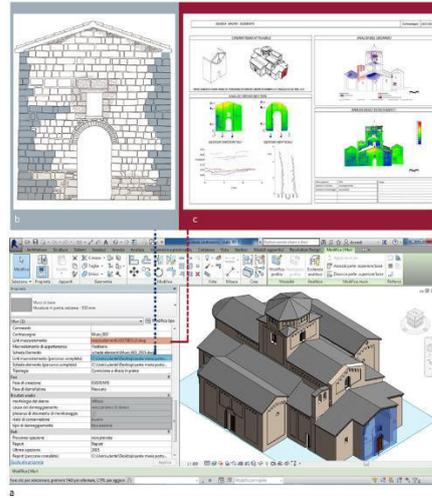
1

Rilievo



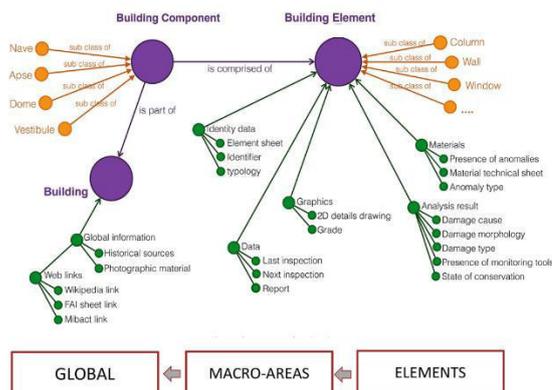
2

Interazione di dati eterogenei



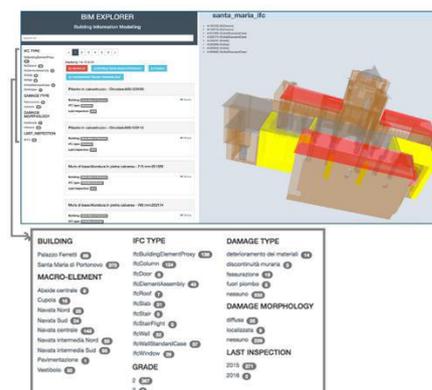
3

Scomposizione dell'architettura e costruzione del modello tramite ontologie



4

Esplorazione del modello integrato tramite applicativi web



Caso studio: Basilica di Santa Maria a Portonovo, Italia  
Gruppo di lavoro: R. Quattrini, R. Pierdicca, C. Morbidoni

Riferimento bibliografico: Quattrini, R., Pierdicca, R., Morbidoni, C. (2017). Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web. Journal of Cultural Heritage 28 (2017), pp. 129-139.

5

Fig. 2.11 Tavole sinottiche di processi BIM per la costruzione di modelli di architetture storiche.

Altri lavori, come quello di Fregonese et al. (2015) e Rechichi et al. (2016) si distinguono per l'utilizzo di Software Open Source (3DReshaper, BIM3DGS) usati per l'elaborazione dei dati di rilievo e per la costruzione di modelli parametrici, o nell'integrazione con applicativi GIS (SIGEC e SICaR), come gli studi di Baik et al. (2014, 2015, 2017). In questo caso, la combinazione tra la modellazione estremamente dettagliata basata sulla segmentazione del dato di rilievo in parti principali (porzioni generali) e secondarie (elementi di dettaglio), necessaria per descrivere un'architettura islamica, e il sistema GIS Autodesk InfraWorks, è risultata particolarmente laboriosa, coerentemente con la complessità di integrare informazioni a livello territoriale con quelle alla scala architettonica.

Lo svantaggio degli approcci analizzati in questa categoria riguarda, in buona sostanza, l'integrazione tra elementi architettonici parametrici modellati su nuvole di punti e le limitazioni legate all'uso di software ausiliari che, sebbene utile e risolutivo per alcuni versi, potrebbe causare la perdita di informazioni al momento di esportare i dati, inficiando la prospettiva di una conoscenza generale dell'edificio.

#### Modelli (e HBIM) attraverso il web

Al fine di tracciare un quadro completo sulle modalità di archiviazione di informazioni eterogenee si è scelto di menzionare anche quegli studi che non utilizzano processi BIM per la modellazione e la manutenzione del patrimonio storico. Questo approccio, più tradizionale, appartiene agli studiosi che ritengono le piattaforme attualmente utilizzate ancora non del tutto idonee a gestire le enormi quantità di dati provenienti da scansioni laser o da Structure from Motion, e da una loro significativa integrazione con i modelli parametrici. La maggior parte degli studi di questo tipo

è condotta in campo archeologico, probabilmente per la maggiore difficoltà che si riscontra nel rintracciare la standardizzazione e la ripetibilità di elementi, siano essi strutturali o decorativi. Inoltre, in questo ambito si pone particolare attenzione allo studio di ogni elemento nel dettaglio, il che rende di più difficile applicazione le approssimazioni tipiche dei processi BIM/HBIM. Tuttavia, anche in questo caso i modelli, costruiti per lo più attraverso l'interazione di diverse competenze –archeologici, architetti e informatici – costituiscono dei veri e propri repository tridimensionali di dati. Questo tipo di ricerche è spesso associato ad applicazioni *web-based*. Il web oggi si trova al centro di una rivoluzione che lo rende non più un mero recipiente in cui riversare contenuti di ogni tipo, ma un vero e proprio luogo di interazione sociale, con dati organizzati, sintetizzati e progettati in modo tale che ci siano punti di intersezione tra i diversi contesti. Soffermarsi su questa tipologia di studi potrebbe sembrare, in un certo senso, scollegato dagli obiettivi della presente ricerca<sup>21</sup>. Tuttavia, analizzare altre modalità di sistematizzazione di dati più orientate alla condivisione di dati con il grande pubblico, può aiutare, da una parte, ad analizzare le piattaforme BIM, nate per la comunicazione e l'interazione tra specialisti di diversi settori, e per aprire forse la strada a nuove possibilità, smorzando un approccio che talvolta può sembrare poco elastico. La flessibilità è invece una delle principali caratteristiche delle attuali applicazioni che, dal web statico, centrato sul browser e sulla consultazione di pagine HTML non modificabili (i comuni siti web, per intenderci), sono passate prima alla concezione del Web 2.0, il Web interattivo, che presenta un numero maggiore di applicazioni software che consentono una più ampia collaborazione e condivisione di contenuti tra utenti, poi al Web 3.0. Questo termine non ha, attualmente,

definizioni univoche; corrisponde ad un ulteriore stato di evoluzione del Web, trasformato in un grande database che permette di immergersi in ambienti 3D interattivi in una pagina HTML, in cui i documenti pubblicati (pagine HTML, file, immagini) sono associati ad informazioni e dati che ne specificano il contesto semantico in un formato adatto all'interrogazione e l'interpretazione. L'evoluzione delle ICT, che permette di disporre e accedere in tempo reale a informazioni eterogenee grazie a tecnologie in grado di comprendere diversi linguaggi e metterli in comunicazione, ha comunque toccato anche l'ambito del BIM e dell'HBIM. Questo connubio si formalizza attraverso la creazione di interfacce web-oriented che raccolgano dati all'interno di un unico modello informativo. L'esperienza di Quattrini et al. (2017) è propriamente significativa sia per meglio comprendere i concetti appena descritti attraverso un'applicazione pratica, sia perché il gruppo mette a punto una metodologia all'interno di un contesto particolarmente complesso. La ricerca, condotta sulla Chiesa di Santa Maria a Portonovo, riesce in un certo modo a riassumere tutte le problematiche ad oggi identificate nel campo dell'HBIM (Fig. 2.11). Il lavoro propone una reale soluzione alla richiesta di una (quasi) totale interoperabilità tra i modelli BIM, ricchi di informazioni organizzate in modo gerarchico tramite le ontologie, e la loro interrogazione nel contesto del web semantico<sup>22</sup>. L'approccio seguito è di particolare interesse in primo luogo rispetto alla struttura dei diversi livelli di approfondimento<sup>23</sup>; in secondo luogo per il modo in cui una modellazione tridimensionale semanticamente strutturata viene condivisa in un ambiente comunemente utilizzato, quello del browser. L'utente naviga i dati attraverso delle query<sup>24</sup> e accedere così a modelli 3D/2D o parti di essi, a fogli

di lavoro digitali, a contenuti multimediali come pdf, video, immagini o collegamenti web.. La metodologia seguita dimostra come sia possibile passare dalla rappresentazione parametrica dell'HBIM alla gestione degli oggetti web 3D, supportando una migliore comprensione dei singoli elementi attraverso informazioni tematiche sull'organismo architettonico e consentendo la connessione a database tematici descrittivi (tecnologie costruttive, elementi abaco), in una logica di modelli dal contenuto semantico.

In generale, implementare la conoscenza attraverso le ICT, oggi, può avere diversi significati e diverse modalità di espressione a seconda di chi la struttura e di chi ne fruisce. Ad ogni modo, l'uso dei processi BIM per la valorizzazione e la gestione del patrimonio ha notevoli ricadute su tre diversi aspetti: la conoscenza, la modellazione, la validità e la scientificità dei dati.

Una fondamentale differenza si riscontra nel ruolo assunto dalla conoscenza riferita all'HBIM rispetto a quella necessaria nel processo di progettazione. In questo caso, infatti, si fa riferimento alla conoscenza del prodotto progettato, necessaria per le operazioni da svolgere su di esso durante e dopo la realizzazione; nel caso del patrimonio architettonico esistente, invece, si tratta della conoscenza per progettare. Nella fase di conoscenza relativa alla preesistenza e al processo investigativo condotto su di essa costituisce una tappa prioritaria e fondamentale il lavoro di modellazione semantica, sia come conseguenza dell'elaborazione dei dati di rilievo, sia se impostato rispetto a documenti di archivio (Fig. 2.12). Entrambe sono attività piuttosto complesse: nel primo caso, per tutto ciò che comporta un'opportuna ed efficace estrazione di informazioni a partire da dati che sono tutt'altro che selettivi; nel secondo caso, perché non sempre è

## Semantic description I Model

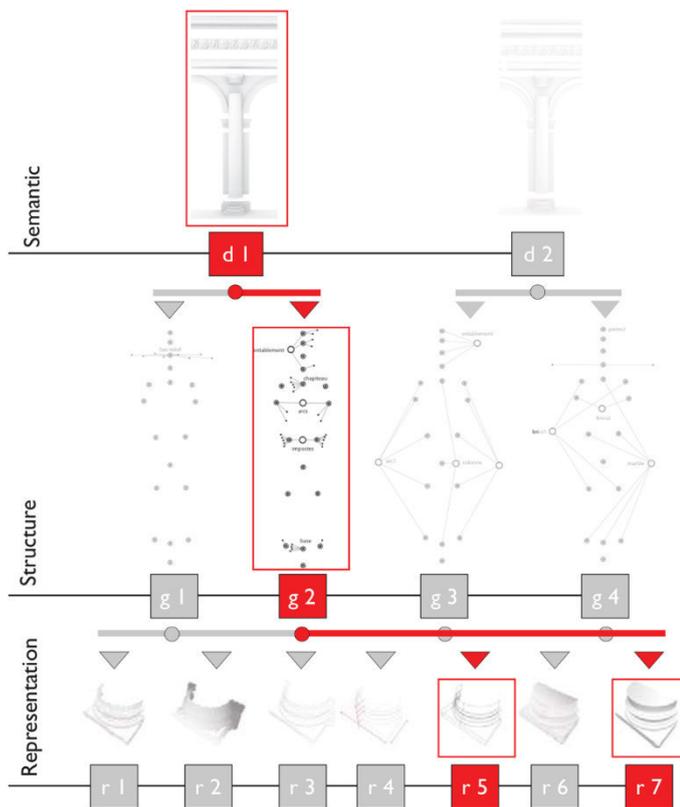
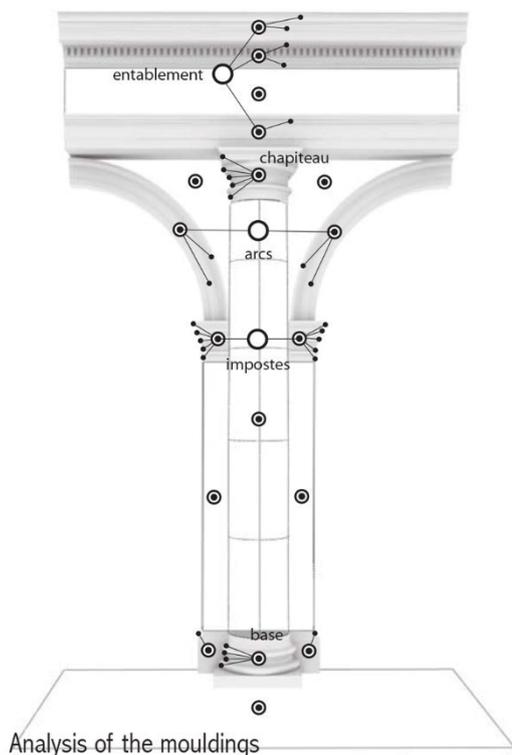


Fig. 2.12 Scomposizione semantica per la modellazione dell'architettura. Immagini tratte da: De Luca et al., pp. 237.

possibile disporre di tutte le informazioni necessarie o verificarne la corrispondenza con l'oggetto reale. L'arricchimento semantico, ovvero la qualità dell'informazione inclusa nel modello, la sua accessibilità e il suo uso sono temi ancora parzialmente esplorati. Alcuni studiosi (Simeone e Cursi, 2016) ritengono ancora incompleto lo sviluppo della semantica nei processi BIM perché ai dati sono ancora associate delle etichette più che le descrizioni dei concetti. Il passo in più da compiere è quindi considerare il modello HBIM non più solo come un database, per quanto ricco ben organizzato, ma intendere la conoscenza come comprensione

dell'informazione attraverso il suo corretto contesto interpretativo, in modo tale che possa essere condivisa ottimizzando la programmazione e l'esecuzione di operazioni successive.

Il processo di modellazione degli oggetti si relaziona all'organizzazione semantica dei modelli e al criterio di scomposizione dell'oggetto maggiormente adeguato rispetto ad obiettivi precedentemente stabiliti. La modellazione parametrica e informativa nell'ambito del patrimonio storico è difficile, sia in termini di trasposizione geometrica della continuità del mondo reale, sia della sua descrizione qualitativa. A queste difficoltà, inoltre, si associa la rigidità

intrinseca del flusso di lavoro di modellazione parametrica e alla costruzione di librerie di oggetti digitali che si scontrano con la variabilità e l'unicità dell'ambiente costruito, specialmente quando ha origini antiche, o è il frutto della stratificazione di diversi interventi, o si trova in uno scarso stato di conservazione. La modellazione all'interno di processi HBIM implica un'operazione cruciale di discretizzazione che deve affrontare ancora l'impossibilità di utilizzare sistemi automatici per svelare queste caratteristiche. Definire il limite tra evidenza e ipotesi soggettiva costituisce la base dell'ultimo aspetto da considerare, quello della validità scientifica del modello. Le varie piattaforme BIM, oggi, consentono di effettuare diverse tipologie di verifiche rispetto al modello costruito, per lo più legati alla validazione di informazioni afferenti a diversi ambiti che si intersecano: quello architettonico, quello strutturale, quello impiantistico, ecc. I controlli eseguiti nella maggior parte dei casi hanno l'obiettivo di evidenziare eventuali collisioni tra elementi interferenti o la rispondenza a normative di riferimento<sup>25</sup> seguite nel campo della progettazione (ad esempio il rispetto dei rapporti tra le superfici aeroilluminanti o la resistenza al fuoco dei materiali impiegati). In realtà, l'estensione dei processi ai beni

culturali ha evidenziato altre due tipologie, non meno importanti, di controlli da effettuare per validare i modelli costruiti. Coerentemente con l'impostazione che è stata data al presente studio, risulterà semplice comprendere come tali ambiti siano legati, in primo luogo, all'aderenza metrica e geometrica tra il modello numerico e il modello parametrico<sup>26</sup>, e in secondo luogo alla scomposizione semantica del modello. Se le verifiche sulla rispondenza geometrica dei modelli alla realtà sono in un certo senso più semplici da attuare, nonché più oggettive, le strategie per il controllo della corretta strutturazione semantica degli oggetti digitali pongono questioni ben più complesse. Per tali ragioni, recenti studi in ambito accademico hanno proposto l'introduzione del Level of Reliability<sup>27</sup> come indicatore dell'affidabilità di un modello informativo, o degli oggetti digitali che lo costituiscono.

Riconsiderare questi aspetti apre a possibili scenari di sviluppo per implementare le metodologie consolidate di rilievo integrato e di intervento nell'ambito del Cultural Heritage attraverso l'uso di sistemi informativi, nell'ottica di garantire una struttura sempre più controllata dei dati che influenza la scientificità dell'intero processo.

<sup>1</sup> Un quadro maggiormente dettagliato riguardo il panorama nazionale e internazionale si trova nella sezione *Rilevamento ed elaborazione di modelli ottenuti da acquisizione massiva* della bibliografia di riferimento della presente ricerca.

<sup>2</sup> Nel primo caso, la definizione del livello di dettaglio corrisponde alla definizione di parametri variabili in base alle necessità di acquisizione: il *probe*, che corrisponde al

raggio della sfera ideale il cui centro coincide con il centro ottico dello scanner laser, il *sample spacing*, ovvero il passo della scansione o dimensione della maglia di acquisizione. Per maggiori approfondimenti si veda Carlo Bianchini, Carlo Inglese, Alfonso Ippolito, 2017. *I Teatri del Mediterraneo come esperienza di rilevamento integrato / The Theaters of the Mediterranean as integrated survey experience*. Roma: Sapienza University press, pp.42-47. Nel caso di modelli da SfM, gli elementi che concorrono

alla definizione di un modello numerico più o meno denso, sono con il numero di fotogrammi processati, la qualità delle fotografie rispetto alla distanza con l'oggetto da rilevare, e la risoluzione delle immagini fotografiche. Per maggiori approfondimenti si veda Marco Gaiani, 2015. *I portici di Bologna. Architettura, modelli 3D e ricerche tecnologiche*. Bologna: Bononia University Press; Alfonso Ippolito, Cristiana Bartolomei, Martina Attenni, 2017. *Digital Acquisition: reflections on data quality. Archeologia e Calcolatori* n.28.2, pp. 507-519.

<sup>3</sup> <http://www.tcproject.net/pivotx/?p=greenspider>

<sup>4</sup> S. Garagnani, A.M. Manferdini, 2013.

<sup>5</sup> Le piattaforme BIM più efficaci per eseguire la modellazione del patrimonio architettonico, al fine di pianificarne la manutenzione o la riabilitazione, possono essere classificate in tre grandi famiglie: i modellatori 3D, strumenti per la progettazione di modelli parametrici solidi, che costituiscono la replica virtuale di manufatti realmente esistenti (Archicad, Bentley system, Autodesk Revit); i visualizzatori 3D, strumenti per la visualizzazione di modelli nello spazio (Tekla BIMsight, Naviswork freedom, SketchupBIM); gli strumenti per condurre analisi specialistiche, generalmente associati a piattaforme esterne ma compatibili (Ecotect Analysis, Daysim, Energy plus). Nel corso della presente sperimentazione la scelta del modellatore utilizzato, Autodesk Revit, è stata influenzata dalla familiarità e dall'interoperabilità con i software Autoacad e Recap, utilizzati rispettivamente per la il collegamento di file in formato .dwg e per la visualizzazione e la manipolazione delle nuvole di punti, esportate in formato .rcp.

<sup>6</sup> Jung et al.,2014; Hong et al., 2015; Wang et al., 2015; Zheliazkova et al., 2015; Liu, 2016.

<sup>7</sup> L'algoritmo RANSAC (RANDOM SAMPLE CONSENSUS) viene usato nel campo della computer grafica. È un metodo iterativo per la stima dei parametri di un modello

matematico a partire da un insieme di dati di input contenente una grande percentuale di valori outliers. Un valore di questo tipo è un valore anomalo all'interno di un insieme di dati, distante dalle altre osservazioni disponibili che invece si adattano al modello vero, considerando che esse hanno un errore di misura dovuto ad un rumore. Per maggiori approfondimenti si veda: M.A. Fischler and R.C. Bolles, 1981. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, vol 24: pp 381-395.

<sup>8</sup> L'algoritmo di Ball Pivoting si basa sul principio che tre punti formano un triangolo se una circonferenza di raggio li attraversa senza includere altri punti al suo interno. Il processo viene ripetuto ruotando la circonferenza intorno ad un lato del triangolo finché non tocca un nuovo punto. Per maggiori dettagli si veda F. Bernardini, J. Mittleman, H. Rushmeier, C. Silva, and G. Taubin, 1999. The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 5, pp. 349–359.

<sup>9</sup> <https://gexcel.it/it/software/edgewise>

<sup>10</sup> <https://www.imaginit.com/News/PressReleases/NewsId/341>

<sup>11</sup> I processi BIM, che si reggono principalmente sul concetto di standardizzazione, vengono sviluppati per mezzo di software che ricorrono all'uso di librerie, ovvero abachi di elementi che contengono informazioni metriche, computistiche, prestazionali, di manutenzione e ciclo di vita di ciascun componente. Le librerie nel campo dell'HBIM vengono costruite non basandosi su dati progettuali, da inserire ex novo, ma integrando i dati desunti da manoscritti e documenti d'archivio, dati di rilievo – quale che sia la modalità di acquisizione – e dati ottenuti da analisi fisiche dell'edificio in questione o da parti di esso.

<sup>12</sup> Il processo descritto è valido anche laddove non si disponga di dati di rilievo; in questo caso la costruzione dei modelli avviene sulla base di documenti della documentazione storica che, se disponibile, ben strutturata e completa, influenza il livello di dettaglio del modello e la sua completezza.

<sup>13</sup> Per applicazioni sul tema della creazione di librerie di oggetti digitali parametrici e riutilizzabili perché ricorrenti nelle architetture storiche o rispondenti alle costruzioni ideali di elementi architettonici nei trattati si veda Lo Turco et al., (2017); Apollonio et al., (2012); Chiabrando et al., (2017); Paris et al., (2016).

<sup>14</sup> Per la definizione di ontologia e il suo utilizzo esteso all'ambito BIM, si rimanda al Glossario, p.V.

<sup>15</sup> Si veda il paragrafo 2.3.1.

<sup>16</sup> Di Luggo et al., 2016; Fiorani 2017.

<sup>17</sup> Con riferimento a quest'ultimo settore, in particolare, sono state sviluppate delle applicazioni nel settore della catalogazione e della georeferenziazione dei beni e delle strutture complesse. La principale ontologia specificatamente definita per il patrimonio culturale e riconosciuta ormai come standard ISO (21127:2014) è costituita dal CIDOC. Il sistema è stato messo a punto per formalizzare e gestire lo scambio e l'integrazione delle descrizioni, delle informazioni e della documentazione provenienti da fonti eterogenee del patrimonio culturale: musei, archivi, biblioteche, siti archeologici, monumenti. Fra i progetti d'interoperabilità attraverso l'impiego di ontologie condivise sviluppati si ricorda il progetto Europeana, che raccoglie opere d'arte, libri, brani musicali e video conservati negli archivi di tutta Europa (<http://www.europeana.eu/portal/>).

<sup>18</sup> Fiorani, 2017. p.2.

<sup>19</sup> Cfr. Glossario, p. II

<sup>20</sup> Sistemi di modellazione solida basati sulla descrizione del contorno dell'oggetto (Boundary Representation) attraverso primitive bidimensionali. Un solido viene definito in modo indiretto tramite le superfici (facce) che lo delimitano, rappresentate come insiemi di spigoli e vertici, e le relazioni esistenti tra di esse.

<sup>21</sup> Per questa ragione non verranno presi in rassegna dei casi studio specifici. Per approfondimenti si veda: Pruno (E.), Drap (P), Merad (D.), Boi (J.M.), Seinturier (J.), Peloso (D.), Peloso (D.), Vannini (G.), Nucciotti (M). Un sistema d'informazione per l'archeologia medievale: dal rilievo fotogrammetrico all'analisi dei dati. Il progetto "Castello di Shawbak", in Documentare l'archeologia 3.0, a cura di A. Fiorini, in "Archeologia e Calcolatori", 24, 2013, pp. 329-340; Jiménez Fernández-Palacios, B., Remondino, F., Stefani, C., Lombardo, J., De Luca, L., *Web Visualization of Complex Reality-Based 3D Models with NUBES*, in Proceedings of the 2013 Digital Heritage International Congress, a cura di Addison, A.C., Guidi, G., De Luca, L., Pescarin, S., Piscataway, IEEE Copyrights Manager, 2013, pp. 701-704; Leoni, C., Callieri, M., Dellepiane, M., Rosselli Del Turco, R., O'Donnel, P., Scopigno, R., *The Dream and the Cross: bringing 3D content in a digital edition* in Proceedings of the 2013 Digital Heritage International Congress, a cura di Addison, A.C., Guidi, G., De Luca, L., Pescarin, S., Piscataway, IEEE Copyrights Manager, 2013, pp. 281-288.

<sup>22</sup> Per la definizione di web semantico, si consulti il Glossario, pp.VI.

<sup>23</sup> Alla base, una logica che riprende lo standard tassonomico seguito nel campo del restauro, secondo cui un edificio può essere concettualmente e strutturalmente articolato in tre livelli. Al primo livello, definito *livello globale*, attiene l'edificio nella sua integrità; ad esso sono associati attributi globali e informazioni di carattere generale quali documentazione storica, immagini fotografiche, tutti i riferimenti web. Il secondo comprende

---

le *macro-aree*, gruppi di elementi che collegati strutturalmente (ad esempio una navata di una chiesa) e/o con caratteristiche condivise, e contiene info sulle regole di aggregazione. Il terzo livello è costituito da singoli elementi architettonici (come colonne, muri, porte) che possono essere raggruppati in macro-aree; contiene informazioni sullo stato di conservazione, le patologie di degrado, dati di monitoraggio. Il modello BIM risulta in questo modo idealmente segmentato in varie unità minime (elementi), ognuno identificato da un necessario per organizzare e segmentare i relativi metadati.

<sup>24</sup> Processo di estrazione dei dati da un database secondo certi criteri.

<sup>25</sup> Nel primo caso si fa riferimento alle funzioni di *clash detection*, nel secondo caso a quelle di *Mode checking* consentite dal software Autodesk Revit.

<sup>26</sup> Questo tipo di verifiche, in realtà, non è una prerogativa delle piattaforme BIM ma vengono sviluppate nell'ambito numerosi studi che hanno come scopo la costruzione di modelli geometrici a partire da acquisizioni massive.

<sup>27</sup> Il tema è stato introdotto nella tesi di dottorato dell'Arch. Saverio Nicastro (Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura della Sapienza Università di Roma) dal titolo *L'integrazione dei sistemi di Building Information Modeling nei processi di conoscenza del Patrimonio Culturale* (<https://core.ac.uk/download/pdf/153370911.pdf>).



### 3. Il lato oscuro dell'HBIM: criticità ed elementi di innovazione

La costruzione di modelli HBIM nel campo del patrimonio costruito costituisce un'attività con significative ricadute in molteplici ambiti, che vanno dalla conoscenza, alla pianificazione di interventi, alla gestione di manufatti architettonici. Le possibilità offerte dall'utilizzo di tali modelli è fortemente legata alla condivisione di una risorsa da cui si può prescindere sempre meno, quella dell'informazione digitale. I processi HBIM permettono, attraverso piattaforme digitali e attraverso l'integrazione con i dati di rilievo, di indagare le nuove possibilità di gestione dei dati di beni culturali, dalla scala generale a quella di dettaglio, associando caratteristiche quantitative a quelle qualitative. Tuttavia, le possibili interazioni tra i sistemi HBIM, i dati di rilevamento e le modalità per la costruzione dei modelli di elementi appartenenti al patrimonio architettonico, risultano ancora non completamente sviluppate. In primo luogo perché gli scopi per cui i sistemi BIM nascono e si utilizzano, si modificano quando ci si relaziona con elementi già costruiti, implementando il numero di figure professionali coinvolte nella gestione degli oggetti in questione: non solo progettisti, ingegneri, impiantisti ma anche storici, restauratori, figure preposte alla tutela dei beni culturali. Inoltre, i processi di sistematizzazione e di organizzazione di dati per la costruzione di modelli per il Cultural Heritage in

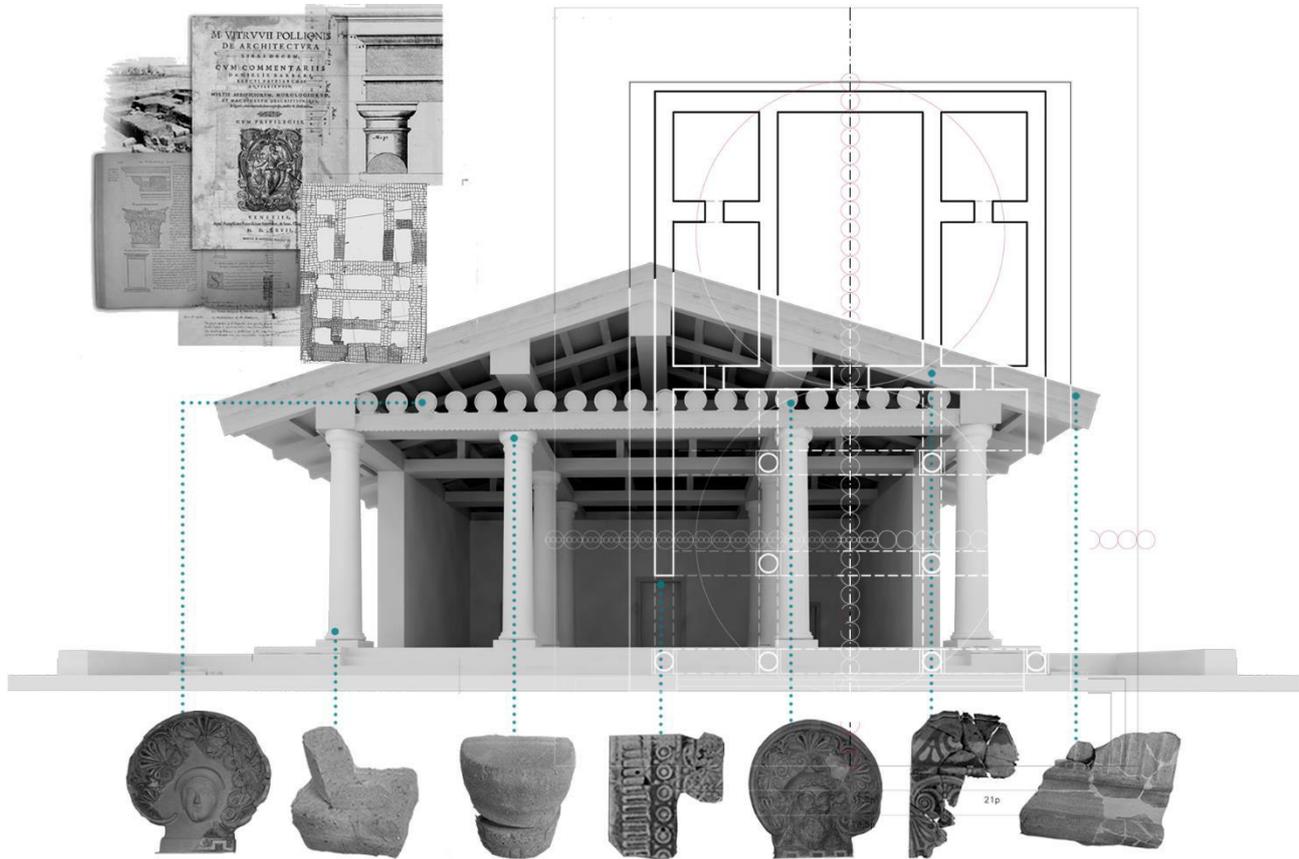
ambiente BIM seguono strade definite ogni volta in riferimento alle diverse esigenze, rispetto all'obiettivo prefissato e alle caratteristiche degli oggetti analizzati. Emerge infatti la presenza di numerose sperimentazioni condotte non solo con l'obiettivo di comprendere l'efficacia dei processi a livello operativo, ma anche di chiarire, a livello teorico e metodologico, potenzialità e limiti dell'HBIM rispetto alle problematiche principali. Le tematiche affrontate dalla presente ricerca possono essere sintetizzate nella conoscenza del patrimonio storico, nella costruzione dei modelli e nella valutazione dell'attendibilità del prodotto secondo i criteri di correttezza e scientificità. A monte, occorre premettere che, a differenza delle nuove costruzioni, in cui le informazioni associate a ciascun oggetto digitale sono conosciute in anticipo e organizzate tra loro in maniera coerente, un elemento esistente nasconde la maggior parte delle sue informazioni. Le questioni elencate riassumono i molti problemi che ancora ostacolano una consapevole e progressiva applicazione del BIM all'HBIM. Tuttavia, questa condizione è destinata a cambiare in tempi rapidi e l'HBIM aprirà prospettive sempre più ampie nei settori delle costruzioni e del restauro, per cui risulta importante definirne le implicazioni e le ricadute, teoriche e pratiche, rispetto all'impostazione di un protocollo che integri la costruzione del

cosiddetto modello ideale a quella di un modello as-built costituito dai dati di rilievo, conoscitivi, e quelli di analisi, provenienti da indagini non distruttive. Si parte quindi da un'analisi dei dati multidimensionale che comprende dati 1D<sup>1</sup> e 2D, recuperati nella ricerca bibliografica e archivistica, e da un'analisi approfondita dei dati 3D raccolti durante le campagne di rilievo (Fig. 3.1). L'elaborazione di tutti i materiali è seguita da una fase generale che prevede la definizione della struttura del modello con l'obiettivo principale di creare database che potrebbero essere arricchiti nel tempo. In questo modo, il processo definisce gli elementi materiali di cui si costituisce l'oggetto reale, delineando un possibile percorso per garantire che la scomposizione di ciascun edificio in elementi architettonici e la definizione ontologica delle entità sia complessivamente omogenea e coerente con le prestazioni attese da un modello HBIM. In questo contesto, «è chiamata in campo sia la logica dell'oggetto che il problema dell'interpretazione»<sup>2</sup>, che sollecita la necessità di lavorare, soprattutto nel caso di architetture del passato, sull'effettiva consapevolezza della dimensione storico-interpretativa dell'oggetto.

### *3.1 Documentazione e semantica dell'informazione ovvero il problema della conoscenza*

Ciascun edificio storico trova l'elemento di maggior caratterizzazione nell'unicità e nella specificità delle soluzioni, spesso dimostrative di quel processo instabile e spesso imprevedibile che determina il suo configurarsi nel corso degli anni. Lo studio di questi processi si rivela fondamentale non solo per comprendere nel modo il più possibile ampio gli

aspetti di varia natura caratterizzanti i manufatti, dalle intenzioni progettuali fino alla loro concretizzazione e mutamento nel tempo, ma anche per organizzare una base di dati rigorosa e impostata correttamente, che costituisca un ruolo fondamentale per la documentazione e la previsione di futuri interventi. Ogni complesso edilizio ed ogni suo specifico elemento si integrano nel contesto di appartenenza instaurando relazioni di carattere spaziale, formale e costruttivo a cui sono sottese questioni storico-culturali non chiaramente evidenti da una prima lettura, o dalle sole informazioni di carattere metrico-dimensionale. L'approccio allo studio di edifici esistenti viene generalmente condotto affiancando due fasi distinte, ma complementari: da un lato lo studio della sua evoluzione e delle ragioni proprie della costruzione, dall'altro l'analisi metrica e geometrica delle parti che lo compongono. Queste due fasi conducono alla cosiddetta conoscenza profonda<sup>3</sup> del manufatto e consentono di costruire la base di dati necessaria anche alla corretta redazione di progetti di riuso, adeguamento, trasformazione o restauro. Se per il secondo aspetto la tecnologia mette a disposizione molteplici strumenti, sempre più potenti e precisi, utili ad un controllo dimensionale e qualitativo delle componenti edilizie, non esiste ancora un sistema in grado di svelare le ragioni (compositive, storiche, tecnologiche, culturali, etc.) per cui un certo elemento è stato realizzato in un determinato modo e collocato in una determinata posizione. Tali aspetti, per quanto siano ascrivibili a determinate categorie in relazione al periodo storico, e per quanto sia riconoscibile l'impiego di determinate modalità tecnologiche, consentono di considerare l'edificio storico come unico nel suo genere. Da questo punto di vista, l'approccio BIM, non risulta essere risolutivo:



*Fig. 3.1 Integrazione di dati 1D, 2D, 3D per la ricostruzione virtuale tridimensionale del Tempio A del santuario etrusco di Pyrgi (Santa Severa, Roma).*

l'utilizzo di oggetti standardizzati non consente di preservare il carattere di unicità degli edifici storici, che deve essere garantito a vantaggio di tutti gli interventi di progettazione che risulteranno coerenti con l'intima natura del manufatto. La complessità della questione che verte sull'edilizia esistente riguarda, quindi, la definizione di una modalità che renda il BIM effettivamente vantaggioso a questo scopo. Lo studio di quei manufatti costituiti da elementi unici, in cui la componente storica e diacronica costituisce la principale caratteristica con la

quale confrontarsi, si scontra con i limiti dal punto di vista conoscitivo legati all'identificazione e alla risoluzione delle cosiddette interferenze, ovvero di quelle situazioni in cui più sistemi – strutture portanti, elementi architettonici, linee impiantistiche, etc. – entrano in conflitto tra loro. Relazionarsi con il problema della conoscenza nel campo del BIM significa affrontare il problema dal punto di vista della modalità di acquisizione di informazioni e della loro formalizzazione attraverso modelli. Comprendere un'opera architettonica significa indagare e analizzare

le ragioni che hanno portato alla sua costruzione, il contesto storico, il rapporto con la società che ha prodotto il manufatto, la sua essenza e la sua struttura dal punto di vista formale, tecnologico e costruttivo. Questo comporta una riflessione rispetto alle pratiche operative di cantiere che, specialmente in esempi realizzati in epoche diverse, segue regole differenti e fasi costruttive non sempre documentate. In quest'ottica, anche il rilievo, sebbene costituisca uno strumento estremamente valido per la conoscenza profonda dei manufatti e per ottenere un corretto numero di informazioni dal reale, potrebbe non risultare sufficiente a coprire tutti gli aspetti precedentemente elencati, che concorrono alla costruzione di un modello complessivamente e adeguatamente descrittivo. Il rilievo è chiamato a documentare, fissando in modelli 3D/2D, lo stato di un manufatto ad un determinato istante, a diffonderne la conoscenza, a custodirne e a tramandarne la memoria. Tuttavia, lo scambio di informazioni con biblioteche, archivi e database specializzati costituisce una fase fondamentale per costruire un quadro conoscitivo che possa essere presentato secondo processi BIM, ottimizzandone l'efficacia e implementando i dati acquisiti dal rilievo. La ricerca storica, da sempre, si fonda sull'insieme di testimonianze che certificano le tracce del passato costituendone la documentazione. Michael Foucault scrive che «il documento non è il felice strumento di una storia che sia in se stessa e a pieno diritto *memoria*; [...] la storia, nella sua forma tradizionale, si dedicava a *memorizzare* i *monumenti* del passato, trasformandoli in *documenti* e a far parlare quelle tracce che in se stesse non sono affatto verbali, o dicono tacitamente cose diverse da quelle che dicono esplicitamente. Oggi invece, la storia è quella che trasforma i documenti in monumenti, e che, laddove si

decifravano delle tracce lasciate dagli uomini e si scopriva ciò che erano stati, presenta una massa di elementi che poi bisogna isolare, raggruppare, rendere pertinenti, mettere in relazione, costituire in insiemi. [...] In questo senso, la storia tende alla descrizione intrinseca del monumento<sup>4</sup>». Nel verso dell'architettura, il monumento in questione non può che essere l'insieme delle opere edificate, della loro presenza e delle loro tracce sul territorio. La rappresentazione è chiamata a documentare tutto questo, proponendo risvolti tangibili che legano le attività di conoscenza alla costruzione di modelli, frutto dell'integrazione tra dati di rilevamento e informazioni di carattere storico. Da tali attività, non di rado, emergono incongruenze tra il progetto e lo stato di fatto, che se da una parte rappresentano un ostacolo o un elemento che rallenta modi e tempi di esecuzione di interventi, dall'altra possono essere il punto di partenza per operazioni analitiche e considerazioni critiche. Ritenere il rilievo una delle principali modalità per conoscere il patrimonio costruito consente di inserirlo all'interno della filiera dei processi BIM come elemento che consente di ottimizzare i dati disponibili. Questa operazione non deve essere identificata come *output*, ma come la ricerca del massimo livello di dettaglio da poter inserire nel processo di costruzione dei modelli, il cui obiettivo è l'integrazione più completa tra tutte le informazioni acquisite. L'indagine relativa alla preesistenza e al suo rapporto con lo stato attuale costituisce un momento fondamentale nel lavoro di semantizzazione, che precede e integra quello della modellazione. La descrizione semantica di un'opera architettonica è definita da una struttura di concetti organizzati intorno ad una descrizione geometrica che segue una logica gerarchica. Associare la semantica a

forme architettoniche, quindi, è un ulteriore passo che porta a considerare, in maniera sempre più ampia, un edificio storico come un sistema di conoscenze costituito da una collezione di oggetti, identificati da un preciso linguaggio. Riconoscere le forme geometriche non è sufficiente a descrivere le leggi di aggregazione degli elementi, che occorre comprendere attraverso riflessioni di natura più complessa che esprimono le articolate relazioni<sup>5</sup> intercorrenti tra le parti di un'oggetto architettonico (Fig. 3.2).

Quello dell'arricchimento semantico è un tema particolarmente sentito nell'ambito dell'HBIM perché, sebbene i modelli siano sempre più ricchi di informazioni e siano strutturati in modo tale da metterle a sistema nel modo che sia il più possibile efficace per lo scambio di conoscenze tra gli specialisti coinvolti, manca comunque un approccio concettuale e metodologico di cui si riconosce effettivamente e universalmente la validità. Per ottenere un adeguato scambio di conoscenza, intesa come struttura di concetti e relazioni che permettano di collocare le informazioni all'interno del loro contesto interpretativo, le possibilità offerte dal BIM, riassunte generalmente sotto il termine "interoperabilità", è condizione utile ma non sufficiente a garantire un buon livello di conoscenza. Allo stato attuale, infatti, il livello semantico non viene ancora completamente coperto poiché ai dati sono essenzialmente collegate delle etichette, anziché i concetti e le modalità con cui sono stati definiti, che nascono – e forse in questo modo restano – nella testa di chi ha progettato l'opera architettonica. La modellazione BIM, sia che si tratti di nuova progettazione, sia di patrimonio costruito, esclude dalla rappresentazione intere aree di conoscenza che invece sono fondamentali nel processo di definizione dell'edificio

in quanto base e motivazione delle scelte progettuali. Il limite legato all'integrazione della semantica in ambiente BIM riduce, in parte, la mutua collaborazione degli attori coinvolti nell'intero processo che dovrebbero poter accedere, comprendere e utilizzare il massimo livello di conoscenza raggiungibile. L'approccio alla conoscenza per la modellazione, invece, si concentra più sulle componenti tecnologiche dell'edificio che sulle reti di concetti cui sottende la definizione di tali componenti. Modellando i concetti e le loro relazioni è possibile includere nella rappresentazione ogni elemento di conoscenza utile al progetto, a prescindere dal fatto che esso sia parte dell'edificio o semplicemente utile alla sua definizione. La riflessione intorno a questi concetti, formalizzati nel corso degli anni dalle ricerche nell'ambito del BIM, ha spinto a voler superare i suoi attuali limiti rappresentativi, spostando l'attenzione verso lo sviluppo e l'utilizzo di sistemi *knowledge based*. Le migliori prospettive per l'arricchimento semantico nascono dall'integrazione tra le strutture rappresentative del modo di lavorare dei processi BIM con teorie, metodi e applicazioni del web semantico che vedono la loro forza nella costruzione di reti di concetti e di relazioni in grado di scomporre e discretizzare la conoscenza, di fornire le informazioni complete del loro contesto interpretativo e, soprattutto, renderle computabili, e utilizzabili da un calcolatore. Un corretto approccio alla rappresentazione della conoscenza è quello che consente di esprimere in modo completo e omogeneo il significato ontologico dei dati, spiegando non solo come essi devono essere interpretati, ma anche utilizzati come base per nuovi ragionamenti. Arricchire i processi BIM attraverso i criteri che delineano l'utilizzo della semantica permette di

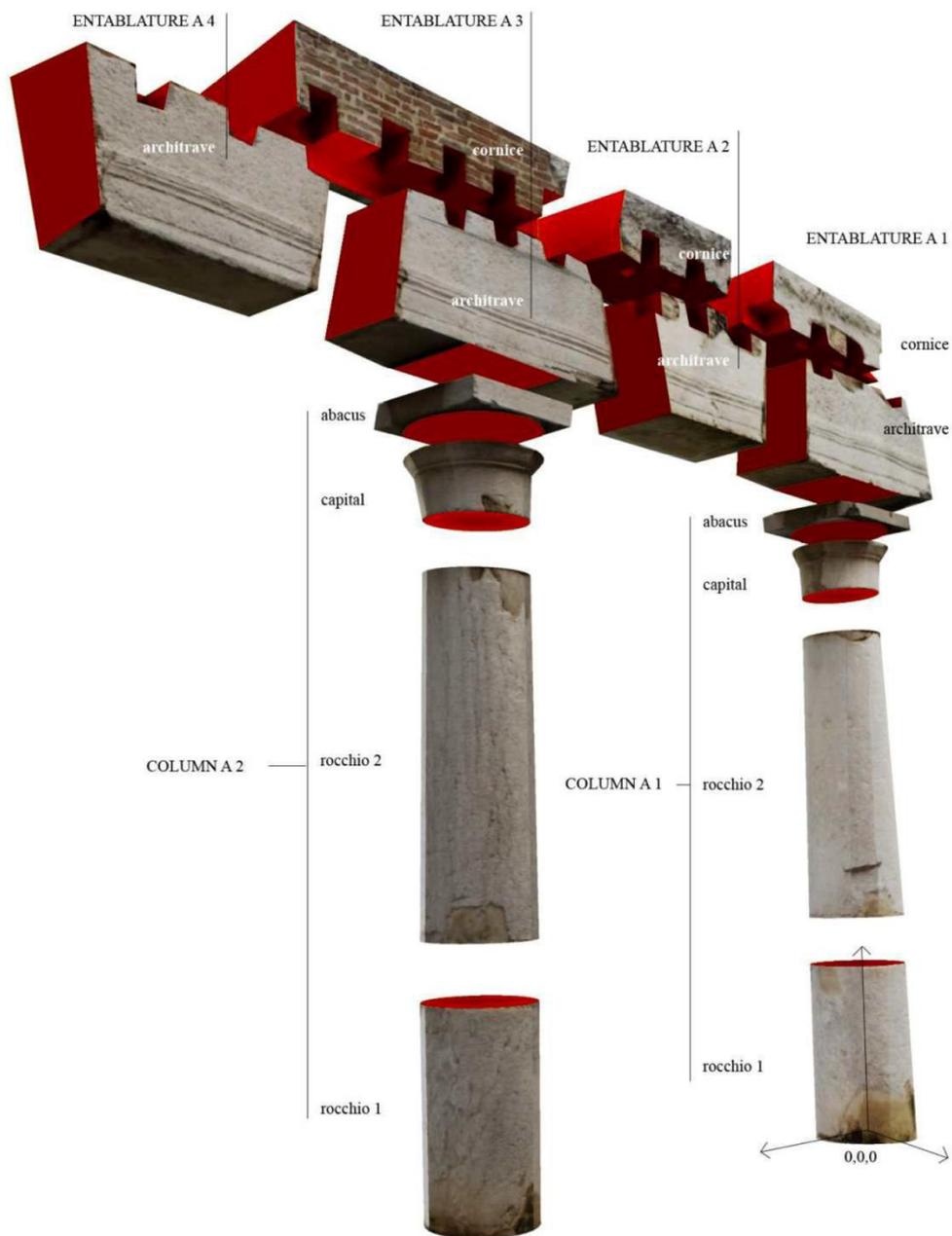


Fig. 3.2 La struttura semantica del modello 3D. Immagine tratta da: Gaiani, et al., 2011, p. 66.

includere all'interno di un modello, oltre alla rappresentazione geometrica dell'edificio e degli elementi che lo compongono, tutti i significati ad essi riconducibili. Si tratta di condurre tutte quelle operazioni di modellizzazione che conferiscono ai processi BIM il carattere multidisciplinare e multidimensionale. Il termine si riferisce al «processo cognitivo che porta alla costruzione di un modello»<sup>6</sup> che, pertanto, implicano uno sforzo intellettuale maggiore rispetto alla creazione di geometrie solide all'interno di un modellatore digitale. In questo modo, il modello ottenuto non è più soltanto la somma di oggetti tridimensionali generati mediante le più diverse tecniche, ma la sintesi della sequenza degli eventi necessari alla generazione delle forme che lo costituiscono. Rendere più ricco il modello dal punto di vista conoscitivo è possibile, a livello teorico e pratico, mediante la connessione di due componenti: un ambiente di modellazione strutturato secondo la logica BIM, e una base di conoscenza costruita mediante ontologie, integrata da un strumenti che favoriscano il controllo del modello e dei criteri seguiti per la sua costruzione. I due database, quello dell'ontologia e quello del BIM, possono essere connessi in quanto perseguono un analogo approccio nella modellazione dell'oggetto architettonico: entrambi si basano sulla modellazione di componenti volta a rappresentare le singole entità che costituiscono il progetto, assegnandogli un insieme di proprietà specifiche per la classe (definita come "famiglia" nell'ambiente BIM) cui appartengono. Il processo BIM si basa sulla rappresentazione dei manufatti per componenti, sia in termini geometrici, sia delle proprietà direttamente attribuibili a ciascun elemento. Il modello così realizzato, integrato alla base di dati formalizzata tramite il linguaggio

RDF/OWL<sup>7</sup>, mette in connessione una semantica appartenente a diversi domini di conoscenza. In buona sostanza, rilievo, documentazione d'archivio e web semantico, consentono di ampliare il campo conoscitivo; perseguire l'obiettivo della loro massima integrazione risulta fondamentale per fornire una rappresentazione di tutto ciò che è essenziale per la pianificazione di interventi su edifici storici.

Occorre tuttavia specificare alcuni concetti riguardanti l'altro grande aspetto da affrontare se si vuole analizzare il rapporto tra HBIM e formalizzazione delle conoscenze relative ad architetture del passato. In primo luogo, l'inserimento di informazioni (eterogenee) in un database non è mai neutrale, nè è mai sempre lo stesso, ma varia con il contesto di applicazione. Fonseca e Martin riconoscono tale attività come la sintesi tra la definizione di un sistema di schedatura generale e l'inserimento dei dati relativi all'oggetto<sup>8</sup>. In secondo luogo, l'archiviazione, l'elaborazione e la condivisione di dati stabiliscono una relazione tra il sistema ordinato, fisso e strutturato del database<sup>9</sup>, e quello più flessibile di chi lo utilizza. Infine, si riscontra una differenza tra le premesse teoriche che sottendono alla costruzione di modelli di architetture nuove, caratterizzate dall'attività soggettiva e creativa, e l'attività conoscitiva che, relazionandosi con il patrimonio costruito, oggettivo perché concretamente esistente, affronta problematiche ermeneutiche. Questa distinzione mostra come la formalizzazione delle conoscenze relative alle preesistenze storiche e al processo investigativo condotto su di esse, costituisca una tappa prioritaria e fondamentale del lavoro di modellazione semantica, strutturato proprio su questa base.

Il tema della tassonomia<sup>10</sup>, quindi, non riguarda solo la conoscenza delle opere ma anche della loro

rappresentazione che, in questo caso, coincide con la loro modellazione. L'intera questione verte essenzialmente su due problematiche principali: come catalogare gli elementi di cui si compongono le architetture esistenti? In che modo i modelli BIM di manufatti storici classificano le opere, ne costituiscono un archivio, ne compiono l'analisi? E in che modo mettono in relazione «la massa di elementi tendendo alla descrizione intrinseca del monumento»<sup>11</sup>?

A queste domande si tenterà di dare risposta nei paragrafi successivi, che guardano alla classificazione dell'architettura e alla sua scomposizione come un elemento di lettura critica, che individua il rapporto storico con le forme del costruire, la loro progettazione e la loro documentazione.

### ***3.2 L'assenza di un protocollo ovvero il problema della modellazione***

La modellazione digitale 3D di qualsiasi artefatto implica una composizione organizzata e ordinata di elementi digitali. Considerarne le implicazioni rispetto al processo BIM è quello che la presente ricerca sta cercando di mettere a fuoco. Il problema è, da una parte, puramente formale; dall'altra, legato alle caratteristiche peculiari dei manufatti. I modelli dell'architettura si costituiscono in forme, che, in quanto tali, sono rappresentazioni concettuali; ma sono forme anche le strutture dello spazio da essi formalizzate, e modelli in quanto concetti devono essere considerati anche i procedimenti che conducono alla costruzione degli oggetti tridimensionali. Il processo BIM, perché sia correttamente impostato, efficace e coerente, presuppone un forte controllo dello spazio, sia nella

corretta definizione, geometrica e semantica, dei vincoli e delle associazioni fra gli elementi del modello e riferimenti spaziali, nel sia nel riconoscimento delle variabili degli oggetti, che vanno trasposte in termini parametrici. Nell'applicazione ad architetture storiche, l'approccio deve tener conto di diversi aspetti: la genesi delle forme e la loro interpretazione, la conoscenza delle modalità costruttive utilizzate per la realizzazione degli edifici, l'individuazione di rapporti gerarchici fra le parti, la definizione delle tecniche di modellazione geometrica e parametrica. Ciascun elemento che compone il modello BIM, e l'intero modello complessivamente inteso, viene descritto nelle tre dimensioni, attraverso la geometria, e nella struttura, nelle parti e nelle loro componenti, riconosciuti ed espressi, attraverso le semantica, secondo il vocabolario dell'architetto (o dello studioso). I nodi della descrizione semantica, definita da una struttura di concetti, sono da una parte connessi con i termini di vocabolario, dall'altra, raccolgono la descrizione geometrica secondo una gerarchia che va dal generale al particolare. L'approccio alla semantizzazione segue due strade differenti, tra loro complementari. La prima si esplicita nella fase iniziale della conoscenza, sia che si basi sullo studio della documentazione d'archivio, sia su acquisizione ed elaborazione di dati di rilievo, sia su entrambe. In ogni caso, infatti, si registra il tentativo di inserire le informazioni semantiche già in sede di rilevamento per associarle a modelli tridimensionali. La seconda riguarda lo studio di modalità per la costruzione di modelli all'interno delle piattaforme dedicate. Tale attività si occupa di stabilire la struttura di un modello costruito secondo logiche BIM, e include tre aspetti: la conoscenza e l'utilizzo di un lessico che consenta di riconoscere e di isolare gli

elementi di cui l'architettura si compone, l'identificazione di una logica efficace per raggrupparli, la scelta della modalità di rappresentazione e modellazione più adatta all'estrazione di quelli necessari ad analisi successive. Occorre a questo punto ricordare che, analogamente a come succedeva per l'elaborazione dei dati di rilievo nei primi anni di applicazione delle tecnologie per l'acquisizione massiva di punti sulle superfici, non esiste ancora un quadro di riferimento che stabilisca un processo univoco per lo sviluppo concreto dei tre aspetti sopracitati in relazione ai processi BIM. Tali processi, che promuovono la lettura dell'architettura mediante i suoi elementi costitutivi, risultano essere maggiormente complessi perché analizzati nel contesto dei beni culturali. I motivi di tale complessità, dettata principalmente dalle questioni legate al tema della modellazione, possono essere riassunte in tre aspetti. I primi due riguardano il modello considerato in termini generali e attengono rispettivamente alla scomposizione dell'architettura nelle sue parti costitutive e alla relazione tra il modello ideale, quello parametrico, e il modello reale, quello numerico. Il terzo aspetto nasce conseguentemente allo sviluppo di quelli precedenti ma entra maggiormente nel dettaglio di quelle particolarità e delle variazioni a livello locale – legate agli effetti del tempo o dell'opera dell'uomo – che rendono unici i complessi architettonici. Questi concetti verranno di seguito esplicitati, con lo scopo di evidenziare ed elencare le problematiche, a livello teorico e pratico, poste in essere dalla modellazione. Addentrarsi in questa fase significa riconoscere che «il modello non può essere il risultato di un piatto meccanico procedurale, la mera e passiva applicazione di una o più tecniche. Piuttosto, è esso stesso un dispositivo teoretico: l'esito di una produzione [...]

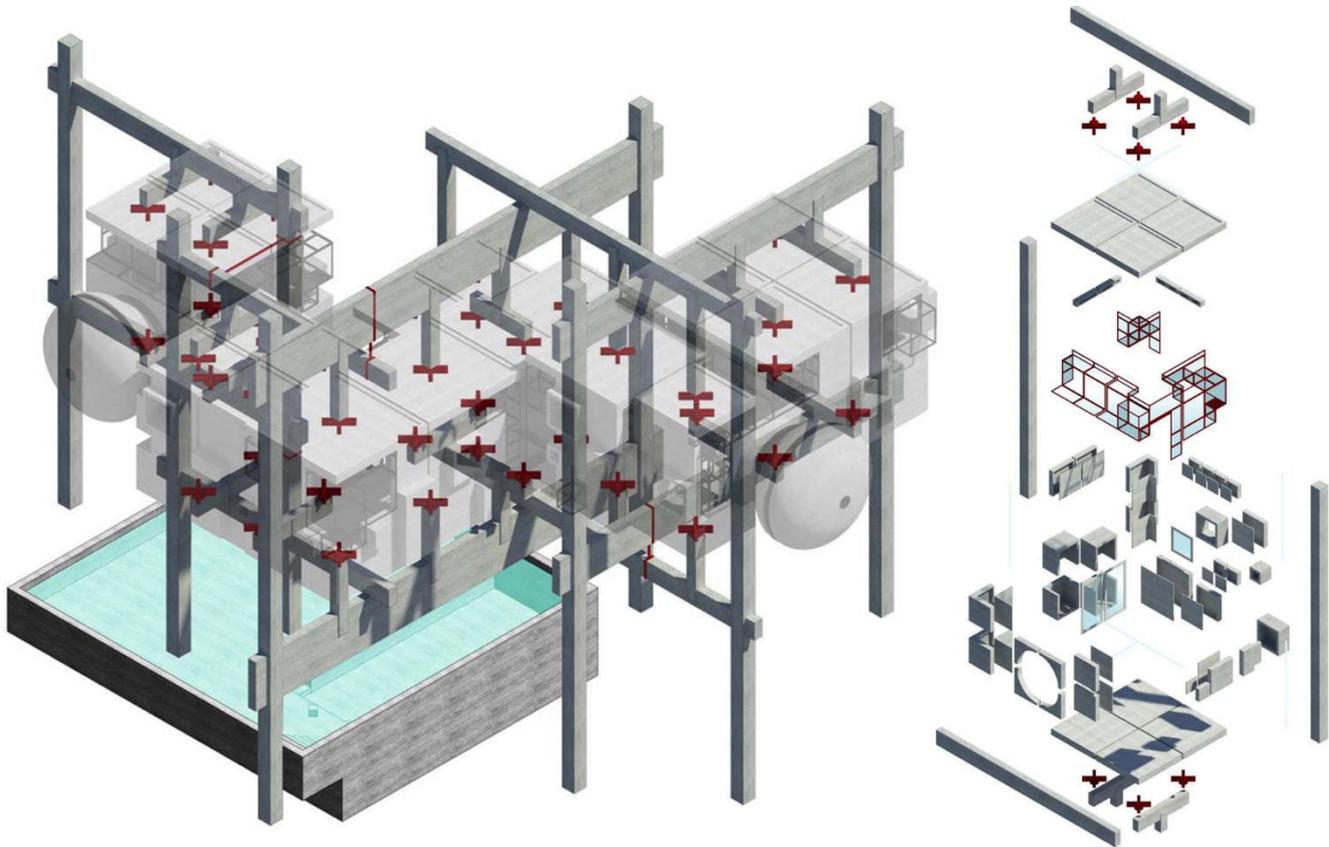
dalla portata culturale assai ampia [...] I nostri problemi hanno riguardato l'impostazione teorica generale delle tematiche, che non si risolvono tanto in un acritico e pragmatico “come si fa” ma implicando piuttosto il “perché” e il “sulla base di quali principi teorici” si procede in un certo modo, e quali ne sono i presupposti e le conseguenze sul piano scientifico, culturale e disciplinare<sup>12</sup>».

### ***3.2.1 Scomposizione e ri-costruzione dell'architettura***

Qualsiasi edificio, di fatto, può essere considerato come un insieme coordinato di semplici elementi tecnologici, collegati tra loro in base a logiche progettuali e tecniche di costruzione abbastanza prevedibili e controllabili. Questo concetto è comune a qualsiasi flusso di modellazione 3D, ma quando applicato all'ambito HBIM, deve fare necessariamente i conti con il riscontro tra i processi costruttivi virtuali e quelli reali, tra i quali si ravvisa una corrispondenza molto elevata, e con le conseguenti interferenze e incoerenze che caratterizzano gli edifici storici. Essi possono essere scomposti in singoli elementi, specialmente se le attività di conoscenza mostrano la regolarità di determinati schemi geometrici e regole di aggregazione tra le componenti architettoniche. Tale caratteristica è riscontrabile in molte tipologie di edifici storici, siano essi appartenenti ad epoche più antiche o alla contemporaneità. Identificarne gli elementi compositivi non significa guardare soltanto alle caratteristiche geometriche delle componenti, ma comporta un'operazione di discretizzazione che consente la riconoscibilità semantica delle parti, attività che vanno successivamente trasposte e formalizzate nell'ambiente di modellazione

parametrica. Questo passaggio risulta piuttosto complesso perchè implica la transizione dalla continuità della realtà esistente ad un modello digitale (parametrico) attraverso una composizione di tipo additivo e gerarchico, in cui gli oggetti tridimensionali trovano il loro posto. Tuttavia, sebbene scomporre un edificio sia un'attività comune e sempre possibile perché legata all'attitudine e alla cultura dello studioso di architettura, in realtà con riferimento ai processi BIM può risultare più complessa. Se per la nuova progettazione è semplice imporre – e riconoscere – una serie di regole, nel caso del patrimonio costruito i criteri seguiti per la scomporre un fabbricato e il loro esito risultano fondamentali. La letteratura recente e l'analisi dello stato dell'arte hanno dimostrato come le strade percorribili in questo senso possono essere le più varie: ogni studio viene condotto con un determinato obiettivo che influenza la metodologia utilizzata per la comprensione di complessi architettonici e la costruzione dei relativi modelli. L'approccio teorico culturale su cui si fonda la scomposizione dell'architettura è oggettivamente legato alla definizione del criterio da seguire e l'obiettivo per cui tale attività viene condotta. Considerando che la lettura di un artefatto esistente nel suo contesto non è può essere semplicemente quantitativa, è necessario andare oltre la mera analisi metrica e procedere con lo studio delle caratteristiche storiche, culturali e tecnologiche che rendono unico quel particolare manufatto. Le possibilità per conoscere e per smontare l'architettura sono molteplici: l'analisi strutturale (Fig. 3.3), l'analisi geometrica (Fig. 3.4), l'analisi delle soluzioni tecnologiche, procedere (dove possibile) per fasi costruttive (Fig. 3.5), procedere seguendo i principi dell'analisi grafica<sup>13</sup> (Fig. 3.6) per identificarne gli

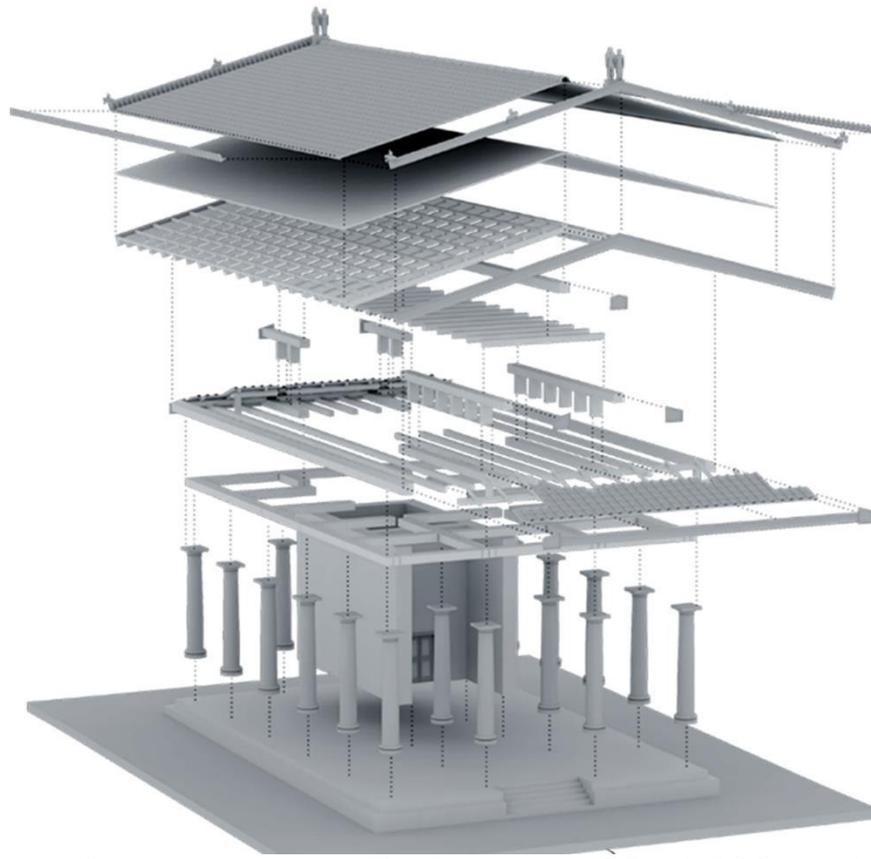
elementi costitutivi, ecc. Ciascuna alternativa consente l'aggregazione di elementi e di oggetti che, sottoposti a mutue relazioni di incorporazione o appartenenza e a vincoli e regole di interazione, guida l'effettiva costruzione del modello informativo virtuale. Tuttavia, non è mai stata fatta una comparazione tra i diversi metodi per comprendere quale tra i tanti sia il più efficace, considerando che ognuna di queste strutture contiene informazioni di diverso tipo rispetto alle altre. Un protocollo universalmente valido dovrebbe comprendere indicazioni per costruire un modello significativo rispetto alle operazioni che su di esso – e quindi sull'oggetto architettonico che rappresenta – vanno compiute. La definizione semantica del modello virtuale, quindi, deve spingersi oltre la semplice descrizione tassonomica dell'edificio e raggiungere un livello più profondo di conoscenza, in cui i criteri per la scomposizione e la ricostruzione del modello indichino come agire sull'edificio, su quali porzioni, e in che modo. Il processo di scomposizione e di modellazione degli oggetti, inoltre, si relaziona alla definizione di un *Level Of Development*<sup>14</sup> ben determinato, inteso come la quantità d'informazioni fornite a livello grafico e non, per descrivere l'elemento modellato (Fig. 3.7). Inoltre, le attività pratiche di modellazione, impongono il rispetto di regole che, sebbene sembrino in parte rigide, perché legate alla struttura del modellatore, in realtà seguono le logiche, certamente più flessibili, di chi si occupa della costruzione del modello. Ancora una volta, quindi, l'approccio teorico si riversa nelle questioni pratiche, influenzando l'efficacia del prodotto finale fin dalle prime fasi. La scelta di definire quali siano gli elementi da impostare prima e quali dopo può sembrare semplice; tuttavia è fortemente legata non



*Fig. 3.3 Scomposizione dell'architettura: il criterio dell'analisi strutturale. Immagine tratta da: A. Raimondi, F. Ripoli, 2017. La Casa Albero di Perugini - il BIM ante litteram. In: Dn. Building Information Modeling, data and semantics, vol 1/2017, p.71.*

solo alle componenti che in un edificio storico si riescono ad identificare e a classificare, ma, in primo luogo, alla specificità del caso di studio, in secondo luogo, alla riconoscibilità di un impianto strutturale, di quello geometrico, della scelta di cosa rappresentare e perché. Entrare nello specifico di questi punti significa confrontarsi, ad esempio, con la vastità dei casi particolari di cui il patrimonio architettonico è costituito: per l'architettura classica, ma anche per quella contemporanea, è semplice riconoscere elementi, isolarli, e riproporne la costruzione secondo

processi BIM in modellatori dedicati; diverso è invece se il campo di studi è quello dell'architettura antica o quella costruita per mezzo di geometrie non euclidee. In questi casi risulta complicata sia l'impostazione di una griglia strutturale a cui appoggiarsi, sia la riconoscibilità tipologica e geometrica di elementi formali. L'analisi dell'architettura risulta quindi fondamentale per due momenti: quello della comprensione e quello della riproposizione del suo statuto all'interno di piattaforme preposte a conciliare i principi sui quali strutturare il modello con le



*Fig. 3.4 Scomposizione dell'architettura: il criterio dell'analisi geometrica. Il Tempio B del santuario etrusco di Pyrgi (Santa Severa, Roma).*

operazioni da condurre su di esso. Iniziando ad addentrarsi nello specifico, significa comprendere che procedere iniziando dall'impostazione di una griglia, o dalla definizione del perimetro esterno, o dall'estrusione di profili di elementi singolari, ecc. è una scelta che ha diverse ricadute sulla gestione dell'intero processo analitico e costruttivo dell'architettura che si vuole analizzare. Quello che va costituito, quindi, è un vero e proprio sistema, inteso nel senso illuminista del termine: uno strumento che organizzando gli elementi e la sintassi delle loro

articolazioni dà origine ad un quadro unitario che consenta di confrontarli e di raccogliere la loro molteplicità in una sintesi formale. Con queste premesse, si può guardare al processo BIM come ad «una rappresentazione esaustiva del rapporto che lega la molteplicità e la frammentarietà degli elementi, della conoscenza empirica (ma anche delle percezioni estetiche) e delle produzioni, al desiderio di costruirne una possibilità di controllo e di misura<sup>15</sup>» in cui la costruzione di modelli attua la possibilità di dare forma a tutto questo.

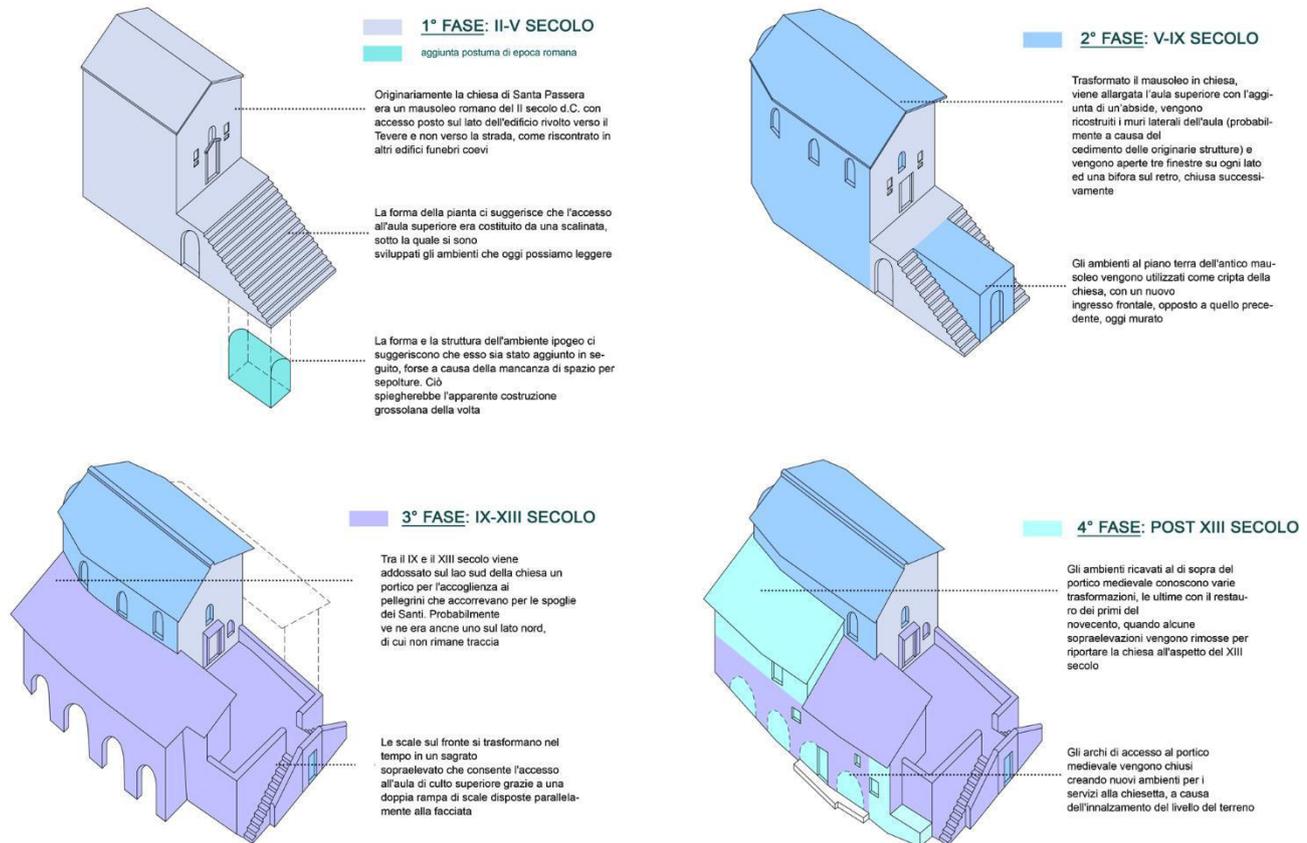
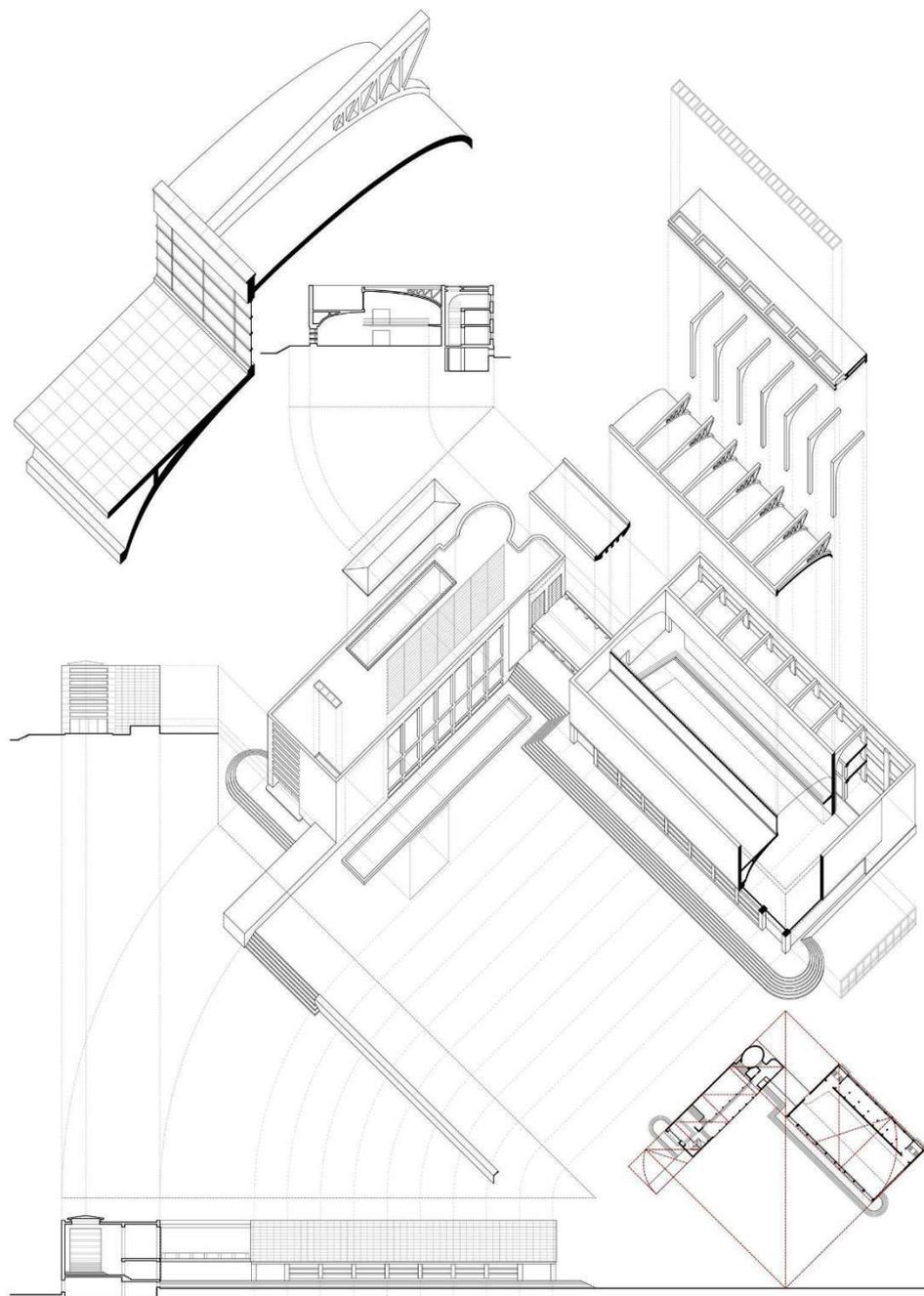


Fig. 3.5 Scomposizione dell'architettura: il criterio delle fasi costruttive. La chiesa di Santa Passera alla magliana, Roma.

### 3.2.2 La gestione efficace del modello numerico

La possibilità di applicare l'approccio BIM all'architettura esistente costituisce oggi un'interessante sfida. Un evidente vantaggio di questo metodo è quello di lavorare in un ambiente tridimensionale in tutte le fasi del processo, dal rilievo alla costruzione del modello, sviluppata attraverso la definizione semantica. L'analisi del patrimonio

costruito, spesso, viene condotta con obiettivi specifici, riferiti non solo al campo della ricerca o dell'accademia ma anche ad attività preposte alla pianificazione di interventi. Occorre ricordare, infatti, non solo che il settore edilizio ha adottato il BIM per le sue qualità e capacità migliorative come standard da almeno 10 anni ma che, dal 2019, diventerà obbligatorio per tutti gli appalti pubblici, rivolti nella maggior parte dei casi a costruzioni esistenti. Con grande probabilità questo porterà ad un'ulteriore integrazione tra questo processo e le modalità per l'acquisizione massiva dei dati di rilievo, che oggi



*Fig. 3.6 Scomposizione dell'architettura: il criterio dell'analisi grafica. La Casa della Scherma al Foro Italico, Roma. Elaborazione arch. Saverio Nicastro.*

costituiscono la modalità più efficace per documentare lo stato di fatto. La relazione tra modelli costruiti attraverso processi BIM e i dati di rilievo *reality-based* è una questione ancora aperta e piuttosto complessa, che rende necessario lo sviluppo di un metodo che garantisca la coerenza del modello parametrico rispetto all'oggetto reale. Tale coerenza va espressa, da un lato, in termini di accuratezza metrica, dall'altro, con riferimento alla qualità della rappresentazione e al livello di dettaglio.

Gli studiosi del campo della rappresentazione hanno approcciato a questo tema con diverse modalità: alcuni si sono serviti dei dati di rilievo, in particolare da quelli provenienti da scansione laser 3D, per l'analisi dell'architettura (Bianchini & Senatore, 2011) considerando il modello numerico come prodotto finito (Clini, Nespeca, & Bernetti, 2013). Altri hanno lavorato sullo sviluppo di modelli digitali focalizzandosi sull'acquisizione tridimensionale e il controllo metrico dei modelli da utilizzare all'interno di geo-database (Gaiani, Apollonio, Clini, & Quattrini, 2015) o piattaforme web-based (Battini, 2009). Altri ancora si sono occupati di costruire librerie parametriche per l'architettura storica, validando metodi per la modellazione veloce ed efficace di elementi complessi, considerando differenti livelli di dettaglio piuttosto alti (Fai, 2014), o sull'estrazione automatica delle *features* (Barazzetti, 2015). Si registrano quindi, in base all'obiettivo delle diverse sperimentazioni, attività di modellazione che seguono diversi passaggi e utilizzano vari applicativi per le necessarie conversioni dei formati. Tuttavia, il punto centrale che accomuna le ricerche e che costituisce il principale ambito di discussione, riguarda l'accuratezza delle ricostruzioni 3D e il loro rapporto con le caratteristiche intrinseche dell'oggetto di

studio. L'analisi del problema si formalizza quindi all'interno di due tematiche: garantire la qualità geometrica del modello senza perdere la precisione e l'accuratezza del rilievo, e rispettare le peculiarità precipue dell'architettura favorendone una corretta lettura ed interpretazione. Tali questioni, che sembrano scontate se si pensa alla restituzione di un rilievo o alla costruzione di modelli per il patrimonio culturale, diventano più complesse se estese all'ambito del BIM. Spesso infatti, quando si generano componenti partendo da morfologie esistenti, nei modelli vengono introdotte astrazioni notevoli. Occorre sottolineare che tali discretizzazioni non corrispondono ad una semplificazione della realtà dal punto di vista metrico, ma che sono soprattutto legate alla morfologia di elementi particolarmente complessi o alla scelta di utilizzare un *Level Of Development*<sup>16</sup> più o meno dettagliato. Da questo discorso sono, per ovvie ragioni, esclusi il LOD F e il LOD G<sup>17</sup>, per i quali la normativa impone di descrivere in ambiente BIM lo stato di conservazione del manufatto. La complessità del modello comprende una corretta relazione con il dato di rilievo, che deve tener presente diverse tematiche: quella del rilievo inteso come inverso del progetto e quello del rapporto tra la neutralità scientifica e oggettiva del rilievo e la componente soggettiva della sua interpretazione. Affrontare queste problematiche mostra come la fase di analisi e di utilizzo del modello numerico sia fortemente legata a quella della scomposizione dell'architettura e della sua ricostruzione tramite processi BIM. Il rilievo come ricostruzione filologica a posteriori del progetto originario di un'opera non restituisce né l'intera compagine informativa riguardante l'opera stessa, né la sua autenticità. Esclude infatti le significative discrepanze che

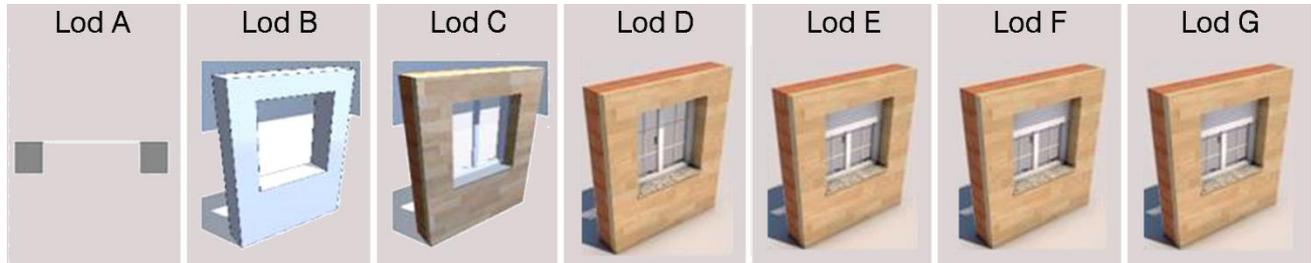


Fig. 3.7 Schema con esemplificazione grafica della classificazione dei LOD (Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali) per gli oggetti digitali tipici dell'ambito architettonico proposto dalla norma UNI 11337:2017.

possono sussistere tra le intenzioni progettuali dell'autore e le comuni infedeltà legate alle attività di posa in opera e alla realizzazione concreta delle strutture. Tuttavia, considerare il rilievo come un metodo per raggiungere il massimo valore documentario, costituisce sicuramente la migliore modalità per conseguire una conoscenza critica dell'opera. Tale attività implica comunque delle semplificazioni legate all'interpretazione che segue la lettura e l'analisi del dato di rilievo, sostanzialmente per due ragioni. In primo luogo perché, per favorire l'ottimizzazione del processo e sfruttare le potenzialità di un approccio parametrico, non si considerano variazioni a livello locale che ricadono in una soglia ritenuta accettabile rispetto all'obiettivo per cui il modello viene realizzato. In secondo luogo perché le caratteristiche di interoperabilità e interdisciplinarietà del processo BIM consentono di associare diverse tipologie di dati ad elementi parametrici, costruiti con semplicità all'interno dei modellatori. In questo modo è possibile semplificare qualsiasi forma architettonica, discretizzandola, e rimandare a collegamenti con immagini fotografiche, o modelli numerici, o modelli mesh, la visualizzazione più efficace di informazioni più complesse (Fig. 3.8).

I due livelli di semplificazione appena descritti aprono ad una serie di interrogativi, che mostrano alcune

restrizioni dei processi BIM. La prima riguarda lo scarto metrico che intercorre tra il modello numerico e quello parametrico. Un processo che sia scientificamente valido deve necessariamente comprendere la deviazione tra la nuvola di punti e il modello costruito a partire dalle caratteristiche estratte dal rilievo. Ciò consente di dichiarare l'accuratezza del modello costruito e di comprendere se questo dato coincide o meno con l'incertezza del rilievo. Inoltre, con l'obiettivo di rendere il processo quanto più trasparente possibile e in virtù dell'interoperabilità che caratterizza la modalità di lavoro nell'ambito BIM, sarebbe opportuno lasciarne traccia all'interno del processo di costruzione del modello. A questo proposito, una buona opportunità è consentita da uno strumento che, all'interno dei programmi di modellazione parametrica, viene impiegato per variare la visualizzazione del modello in base alle fasi di progetto, in particolare rispetto alle azioni di demolizione e ricostruzione. Questa struttura, che consente di isolare ma anche di confrontare due diversi stadi del modello, può essere impiegata per mettere in relazione il modello numerico, che coincide con *l'as built*, e quello parametrico successivamente realizzato, documentandone lo scarto in termini metrici. Ciò consente di archiviare l'intero processo di interpretazione alla base della modellazione, che



*Fig. 3.8 Hintze Hall entrance space within the Natural History Museum, integrazione tra modello parametrico e modelli mesh, elaborazione dei dati di rilievo. Immagine tratta da: S. Antonopoulou, P. B. Frics, 2017. BIM for Heritage Developing a Historic Building Information Model, p.55.*

comprende tutte le informazioni relative al processo di comprensione dei dati, e alle scelte effettuate in fase di modellazione (i cosiddetti paradati).

Un secondo limite attiene invece, più nello specifico, alla relazione con le metodologie di rilievo. L'interrogativo da porsi riguarda in quale misura viene effettivamente utilizzato il dato estratto da un rilievo massivo, e quindi l'effettiva necessità delle metodologie impiegate. Se, da un lato, ormai l'uso di queste tecniche non risulta più dispendioso in termini di tempo (sia per l'acquisizione che per l'elaborazione

del dato, data la velocità sempre crescente degli strumenti e della capacità di calcolo dei mezzi hardware e software), dall'altro ci si chiede se, a livello metodologico, sia giusto registrare una quantità di dato di gran lunga superiore a quello che effettivamente viene impiegato per la costruzione di modelli. Inoltre, si apre un'altra questione di natura contemporaneamente teorica e pratica. L'analisi della deviazione tra il modello parametrico e la nuvola di punti mette in luce le irregolarità delle architetture storiche, legate alla produzione artigianale degli

elementi o agli effetti del tempo. Tuttavia, la modellazione parametrica è una modellazione di tipo ideale, in cui vengono adottate procedure per la semplificazione. Come si deve operare, invece, per la modellazione di tutti quegli elementi che, per loro intrinseca natura, non possono essere resi ideali in alcun modo? Qual è la modalità più corretta ed efficace per modellare i fenomeni di degrado, i dissesti e i danneggiamenti che hanno coinvolto le strutture nel corso del tempo?

### ***3.2.3 Unicità delle componenti architettoniche ed espressione tramite il modello parametrico***

La modellazione di elementi del patrimonio costruito implica la definizione delle loro componenti definendone il livello di dettaglio che individua le specificità di ciascun edificio storico. Passare dall'impostazione generale del modello alle sue caratteristiche peculiari, definendole prima nella struttura gerarchica, poi nella geometria e nelle componenti, costituisce un arricchimento del processo BIM complessivamente inteso. Nel caso di edifici storici, la modellazione di elementi complessi costituisce forse il momento più importante, poiché mette in relazione l'unicità delle soluzioni proposte e realizzate nel concreto, con il concetto di standardizzazione, punto chiave della questione analizzata. L'artigianalità del processo di realizzazione dell'architettura, unitamente alle trasformazioni che subisce nel corso del tempo o ai fenomeni di degrado e deformazione, rendono il

Ancora una volta appare chiaro come la compatibilità e l'integrazione tra gli strumenti si rivela necessaria per analizzare e comunicare la realtà, identificandola attraverso la complessa gamma di significati tra la sfera del reale e quella dell'ideale, sintesi dei dati elaborati all'interno di un modello, che quindi risulterà essere adatto a riprodurre, in scala reale, le caratteristiche di un oggetto indicate sia dal rilievo, sia attraverso indagini critiche degli elementi che lo costituiscono.

manufatto storico un *unicum*, difficilmente assoggettabile ad una logica fondata sulla standardizzazione (Fig. 3.9). La parametrizzazione di componenti architettonici, sebbene renda maggiormente efficiente il processo nell'ambito dell'edilizia grazie alla possibilità di reiterare gli elementi, si scontra con l'accuratezza richiesta ad un modello finalizzato alla conoscenza e documentazione di un bene architettonico, che richiede il rispetto delle specificità e delle peculiarità dell'opera. I processi BIM organizzano gli elementi di progetto all'interno di librerie, oggetti che costituiscono, nel loro insieme, il modello complessivo dell'edificio. L'estensione di questo approccio al patrimonio esistente porta a delle complicazioni non solo nell'utilizzo di questo strumento, ma vede nell'insufficienza delle librerie fornite dagli applicativi uno dei maggiori limiti per la modellazione dell'architettura storica.

Diverse le ricerche che hanno tentato di colmare tale limite strutturando librerie per costruzioni esistenti, sfruttando la ricorsività di elementi e la possibilità di comporre porzioni di edifici attraverso la variazione di

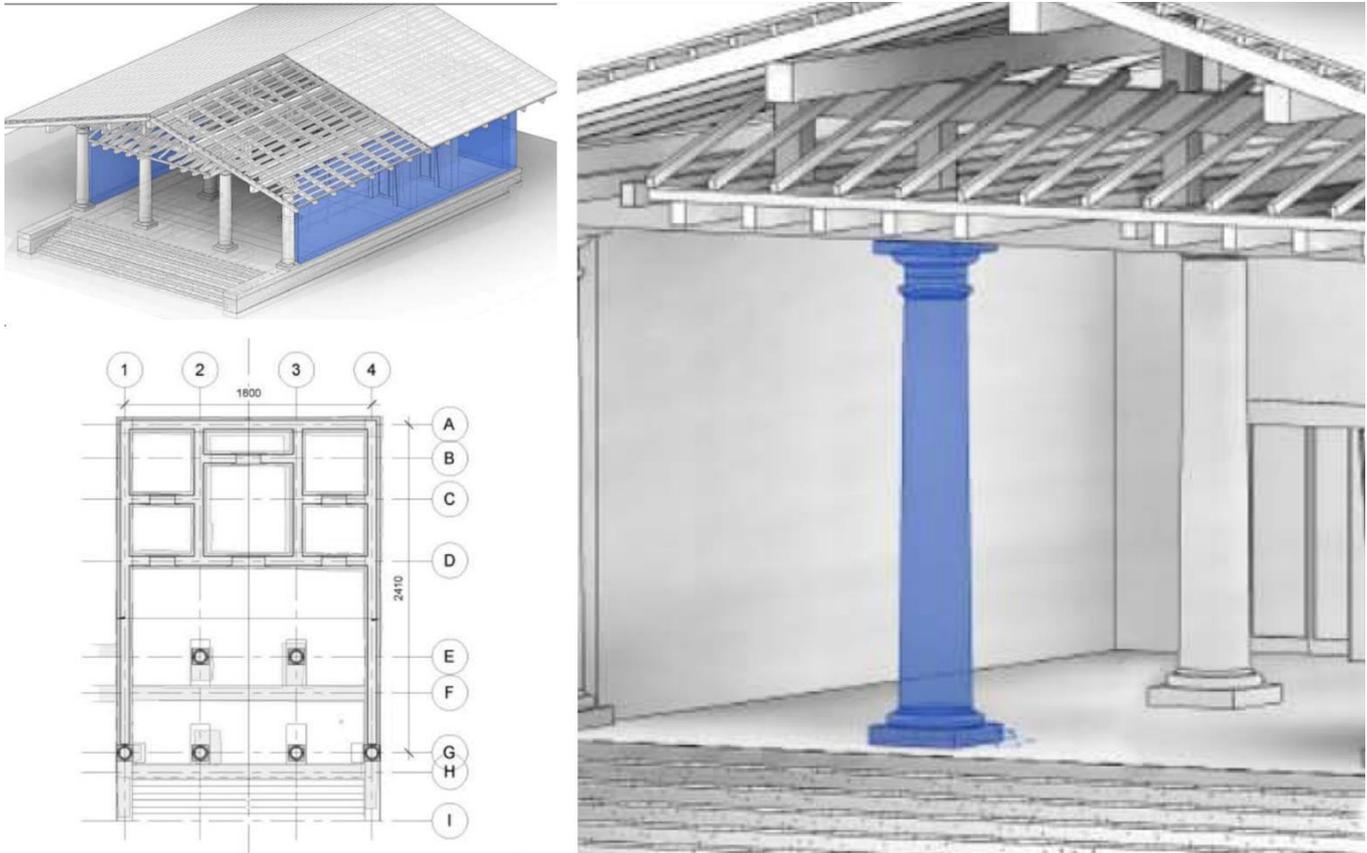


Fig. 3.9 Processi BIM in ambito archeologico. Il tempio tuscanico di Uni a Marzabotto. Immagini tratta da: Garagnani, Gaucci, Govi, 2016, pp. 263-265.

parametri proporzionali e dimensionali. Gli studi maggiormente significativi riguardano la creazione di librerie parametriche per l'architettura storica, realizzate con l'obiettivo di semplificare e rendere maggiormente efficiente la modellazione di facciate di edifici (Dore, 2014) o di interi complessi (Oreni, 2014; Quattrini, 2015). Ulteriori interessanti sviluppi, condotti soprattutto nel campo dell'architettura classica e rinascimentale, sono quelli ottenuti considerando le analogie tra la strutturazione tridimensionale di un BIM e le costruzioni concettuali

desumibili dai trattati (Apollonio, 2012). La possibilità di variare proporzioni generali, profili ed estrusioni, e di servirsi di operazioni booleane, consente poi di utilizzare gli elementi delle librerie adattandoli a casi specifici. Tuttavia, appare evidente il carattere di semplificazione che caratterizza l'oggetto architettonico rappresentato. La descrizione dei componenti privilegia gli aspetti costruttivi e strutturali, e la costruzione di librerie personalizzate non risolve comunque il problema della rappresentazione delle irregolarità dei componenti

dell'architettura storica. Esse sono costituite da oggetti modellati sulla base di regole proporzionali e geometrie ideali, che non considerano deformazioni, danni e anomalie legate alla variazioni dell'architettura costruita rispetto ai dettami della trattatistica. Inoltre, anche nella struttura delle librerie, si riscontra la scarsa opportunità offerte dalle piattaforme di modellazione per la documentazione di stati non ideali, quali deformazioni, danni, fenomeni di degrado, fondamentali nel campo dei beni culturali. Risulta quindi necessario valutare l'aderenza del modello all'opera architettonica, e ricorrere all'integrazione tra i dati tridimensionali e altre tipologie di informazioni per tutte quelle specificità la cui modellazione andrebbe in contrasto con i principi dell'approccio BIM, rendendo tale processo del tutto inefficace.

### ***3.3 La validità scientifica del modello***

L'analisi del processo condotta finora ha dimostrato come l'approccio BIM, sicuramente esaustivo e vantaggioso per alcuni versi, può rivelarsi incompleto quando si lavora nel campo patrimonio costruito. Costruire modelli che consentano, contemporaneamente, di documentare l'architettura storica e di prefigurare in maniera efficace gli interventi che su di essa andranno realizzati, è un'attività di non facile gestione. Ciò è dovuto, in parte, dal dover conciliare gli aspetti tecnici e tecnologici con quelli umanistici, che caratterizzano ogni attività legata ai beni culturali. Dall'altra, invece, si considera la necessità di integrare una ampia quantità di informazioni e dati eterogenei per la costruzione di modelli, sia a livello concettuale – in fase di conoscenza e di interpretazione – sia a livello

operativo – all'interno delle piattaforme utilizzate. La sintesi di tutti i dati consente di implementare il processo di costruzione dei modelli colmando le lacune che talvolta caratterizzano la fase conoscitiva. Risulta semplice comprendere che le nostre possibilità di conoscenza, in realtà, sono sempre incomplete e che quindi, più che inseguire una completezza impossibile, è corretto esplicitare le scelte che si fanno durante la modellazione, dichiarando l'attendibilità del prodotto finale, quindi dell'intero processo. L'approccio BIM al patrimonio architettonico esistente, se ne vengono considerate le implicazioni già dalle fasi iniziali della conoscenza perseguita attraverso il rilievo, costituisce effettivamente una modalità per operare una sintesi ragionata dei dati, favorendo l'integrazione delle competenze e lo scambio di informazioni tra i diversi ambiti professionali. Tuttavia, affinché un sistema di questo tipo funzioni nel modo più corretto e più utile nel verso delle varie discipline coinvolte, è opportuno che sia considerato valido ed attendibile da un punto di vista scientifico. Esplicitare questi concetti renderà più chiara la loro applicazione all'architettura e alle operazioni di scomposizione e ricostruzione. I ricercatori affrontano le questioni relative all'affidabilità definendone, in primo luogo, il dominio di azione. In termini generali, l'attendibilità rappresenta il grado di coerenza tra misurazioni indipendenti dello stesso costruito, e si basa sui concetti di precisione e di stabilità; la validità, invece, è il grado in cui uno strumento misura effettivamente ciò che dichiara di essere in grado di misurare, e si basa sul concetto di accuratezza (Fig. 3.10). L'attendibilità e la validità dei dati, e del modo in cui vengono trattati (ovvero modellati, analizzati e connessi tra di loro), costituiscono un elemento chiave nella valutazione del processo BIM e nei passaggi principali in cui si

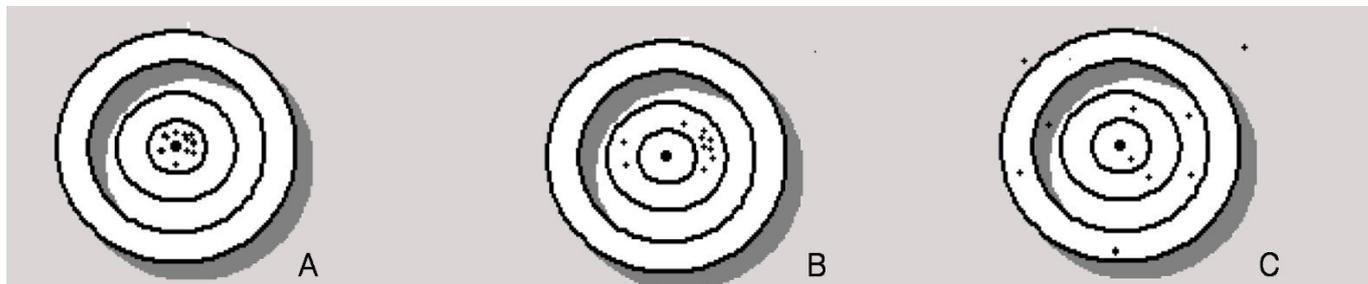


Fig. 3.10 Il concetto di accuratezza sintetizzato attraverso la metafora del tiro a bersaglio e tre casi emblematici: A. preciso e accurato (misura attendibile e ragionevolmente valida); B. inaccurato ma preciso (misura attendibile, ma poco valida); C. impreciso e perciò inaccurato (né attendibile né validi).

articola. A supporto di questi concetti, infatti, esistono diversi strumenti che certificano la scientificità dei risultati ottenuti.

Dal punto di vista del modello costruito, le piattaforme di *BIM authoring*, offrono la possibilità di utilizzare applicazioni specifiche in grado di validare informazioni e interferenze tra modelli di diversi ambiti (architettonico, strutturale, impiantistico, ecc.), comparabili per mezzo del formato di scambio *.ifc*. Tali applicazioni, dette di *model review*, riconoscono gli oggetti digitali e i loro attributi principali, sui quali possono eseguire dei controlli allo scopo di identificare eventuali incongruenze, errori nella modellazione, o collisioni tra gli elementi. Un'altra tipologia di

controlli che è possibile eseguire in ambito BIM è quella cosiddetta di *Code checking*, che consente di valutare la rispondenza del modello a specifiche normative di riferimento (ad esempio, rispetto dei requisiti per l'aero-

illuminazione degli ambienti, per l'accessibilità degli spazi agli utenti con ridotta mobilità, per la resistenza al fuoco dei materiali impiegati, ecc).

Dal punto di vista dell'accuratezza metrica, verificare le incongruenze significa valutare l'aderenza

geometrica tra il modello numerico, elaborato in seguito alle operazioni di rilevamento, e il modello parametrico. L'applicativo *Cloud compare*, che non nasce per i sistemi BIM ma che consente di valutare la deviazione tra diverse tipologie di modelli, e il plug-in *Pointsense* possono essere applicati per questo scopo. I risultati ottenuti da questo tipo di verifiche potrebbero essere letti come una misura del livello di semplificazione adottato nel processo di elaborazione dati dal punto di vista della rispondenza geometrica tra le superfici rilevate e il modello ideale costituito da BIM-object. La valutazione dello scarto tra le due tipologie di modelli che descrivono la medesima realtà, dovranno però essere lette considerandone la natura e il significato in maniera corretta. La deviazione, infatti, può essere legata sia alla semplificazione delle forme geometriche, in parte inevitabile nei processi HBIM, sia al livello di astrazione usato nella modellazione di elementi, definiti appositamente, ma ripetuti più volte nel modello come tipologici. Nel caso in cui sussistano le condizioni per poter considerare il modello BIM del manufatto, o di una sua specifica parte, come la rappresentazione della conformazione ideale della realtà che descrive, la misura delle suddette deviazioni potrebbe anche essere

assegnata come attributo specifico all'oggetto digitale BIM. Oltre che dal punto di vista grafico, tale scostamento sarebbe così archiviato come dato testuale o sotto forma di grafici nel modello informativo, con una funzione esplicativa che richiama le riflessioni di sui paradati intrinseci ed estrinseci del modello<sup>18</sup>. In questo modo, tali dati potrebbero risultare utili, ad esempio, per registrare e descrivere le deformazioni in atto, evidenziando gli scostamenti tra la forma ideale, descritta nel modello BIM a livello geometrico, e la forma reale, descritta dal modello numerico che rappresenta l'*as-built*.

Dal punto di vista della struttura semantica, invece, il controllo degli oggetti digitali implica dinamiche più complesse, meno oggettive rispetto a quelle riguardanti la rispondenza geometrica e la corretta impostazione strutturale e tecnologica dei modelli. Allo stato attuale, infatti, non esistono applicativi analoghi a quello di *model reviewer* che consentano di effettuare controlli di natura critica sulla semantica in ambito HBIM. Una proposta significativa in questo campo è relativa alla codifica di un nuovo parametro in grado di colmare l'insufficienza dei parametri standard che nei processi BIM misurano l'affidabilità delle informazioni di tipo tecnico. Ai LOD e al LOI (*Level of Information*), la ricerca condotta da Saverio Nicastro aggiunge il LOR (*Level Of Reliability*)<sup>19</sup>, che misura l'affidabilità in termini di coerenza globale del processo che definisce qualsiasi oggetto digitale utilizzato. Il parametro mette in relazione l'affidabilità geometrica degli oggetti digitali con la loro corrispondenza ontologica con la forma reale che intendono descrivere. In sintesi, l'affidabilità geometrica del modello è influenzata da diversi fattori: la parametrizzazione della forma geometrica degli elementi, identificazione di regole geometriche e

compositive; il confronto tra i dati acquisiti (attraverso operazioni di rilevamento o attraverso fonti d'archivio) e il modello parametrico (Fig. 3.11). I fattori che influenzano invece la corrispondenza ontologica degli oggetti digitali sono molto più complessi da analizzare. Da una parte perché costituiscono l'esito di attività più soggettive, dall'altra perché affrontano il problema di superare la superficie rilevata. In questo caso subentrano dati riferiti alle fasi evolutive dell'oggetto; la conoscenza delle tecniche di costruzione e materiali utilizzati; i dati desunti da indagini aggiuntive (stratigrafie, conformazione di elementi architettonici o strutturali, ecc.); identificazione, per analogia con edifici coevi o simili. La definizione del Livello di Affidabilità è regolata da una scala numerica che va da 0 a 10 per ogni elemento digitale, rispetto al corrispondente elemento architettonico. In particolare, il LOR 0 rappresenta un oggetto digitale simbolico, mentre il LOR 1 è riservato a oggetti noti in dettaglio molto alto. Un diagramma così strutturato, non solo semplificare l'affidabilità di ciascun oggetto digitale modellato, ma può anche essere utile nel processo di scomposizione e ricostruzione del manufatto, in cui il punteggio finale è incorporato nel modello informativo come uno degli attributi dell'oggetto digitale. La codifica del *Level Of Reliability*, tuttavia, è il risultato di una serie di ragionamenti basati su prove e deduzioni. Tuttavia, è sempre il prodotto di un'analisi soggettiva. In realtà, la valutazione dell'affidabilità non è il solo elemento soggettivo della questione, perché, a ben vedere, lo è anche la modalità con cui vengono comunicati gli esiti delle analisi condotte. Sebbene l'utilizzo di diagrammi nella piattaforma Excel sia un'attività piuttosto comune, manca comunque una struttura in grado di rendere oggettive

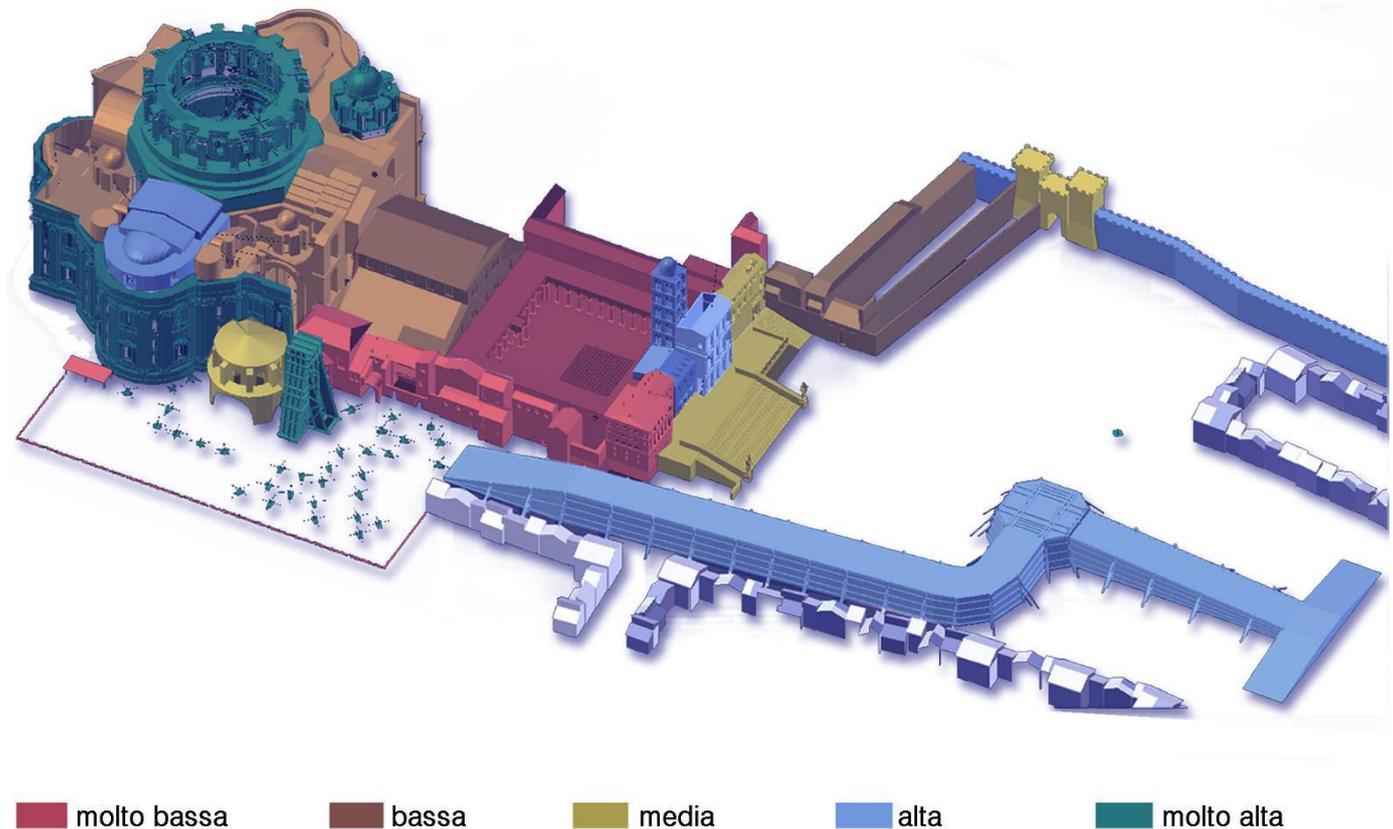


Fig. 3.11 Mappa dei livelli di affidabilità all'interno del processo BIM applicato al complesso del Vaticano attraverso l'uso del colore. Immagine tratta da: Bianchini, 2016, p. 129.

le considerazioni sviluppate. La soluzione può essere rintracciata facendo riferimento, ancora una volta, ad un ambito disciplinare piuttosto distante dal settore della rappresentazione, quello della statistica. Questo settore utilizza degli strumenti che lavorano sulla struttura della conoscenza e sui dati che concorrono alla sua definizione, ponendosi come obiettivi la completezza e la correttezza delle informazioni, prima desunte, poi comunicate attraverso schemi e codici specifici. In particolare, l'utilizzo della *Argument mapper tool* (Fig. 3.12), che letteralmente si traduce

con "mappa dei livelli di attendibilità", può essere sfruttato anche nei processi BIM, grazie alla valutazione dei vantaggi che potrebbe portare per valutare il processo di modellazione. La trasposizione di questo strumento all'interno di due ambiti completamente differenti è possibile se si analizzano le componenti del sistema, cosiddetti *argument mapper components*. Il sistema lavora sostanzialmente con ipotesi e prove, scomponendo un problema complesso in problemi più semplici, di cui occorre stabilire la credibilità e la rilevanza, analogamente a

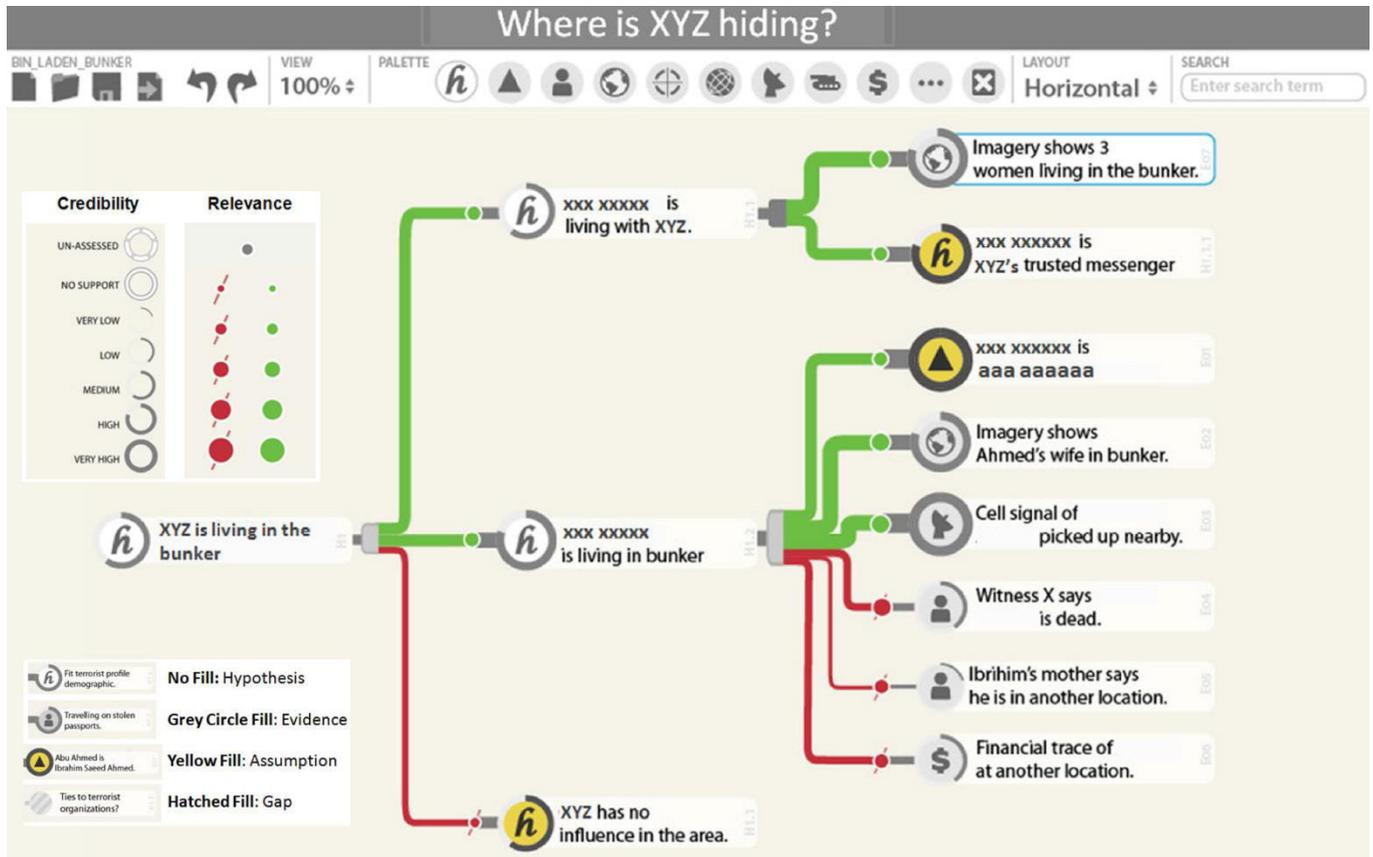


Fig. 3.12 Mappa dei livelli di affidabilità attraverso schemi sulle relazioni tra i concetti. Immagine tratta da: Wright, Sheffield, Santosa, 2017, p. 252.

ciò che avviene nell'ambito della costruzione di modelli nei processi BIM. Questo strumento consente di implementare la quantità e la qualità delle considerazioni sull'architettura analizzata – e quindi modellata – formalizzandole all'interno di diagrammi strutturati e efficaci nella rappresentazione del quadro informativo utilizzato, rappresentando un'implementazione del modo in cui esplicitare il

LOR. In questo modo, la definizione della compagine informativa potrebbe essere considerata non solo come punto di partenza nel campo del HBIM, ma come un altro dato da inserire all'interno di un sistema eterogeneo che associa la credibilità e la rilevanza di ogni elemento rispetto alla forma, al livello di incertezza, al riferimento metrico e a quello documentale.

<sup>1</sup> Cfr. Glossario, p. IV

---

<sup>2</sup> Fiorani, D. 2017. *Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente - Built Heritage Information Modeling/Management BHIMM*. Galazzano: Edizioni IMReady, p.6.

<sup>3</sup> Numerosi studi legati ai campi del rilievo e della rappresentazione si sono appoggiati a concetti formalizzati in ambito filosofico per spiegare il modo in cui, da un punto di vista teorico operativo, si approccia alla conoscenza di un manufatto. Docci cita più volte Descartes, che distingue la conoscenza normale, conseguibile da tutti attraverso gli organi di senso, dalla conoscenza profonda, riservata agli studiosi, che affronta tutto ciò che ai sensi è precluso. Nel verso del rilievo e della rappresentazione, ci si riferisce alla modalità con cui vengono condotte le attività di acquisizione ed elaborazione dei dati. Tali attività, infatti, non hanno come scopo quello di registrare unicamente informazioni di tipo metrico o la restituzione di dati oggettivi, ma entrano in campo logiche analitico interpretative che solo uno studio approfondito è in grado di restituire.

<sup>4</sup> Foucault, M. *L'archeologia del sapere*, pp. 13-14.

<sup>5</sup> Le relazioni tra le componenti materiali di un'architettura possono essere essenzialmente di tre tipi. Le relazioni geometriche esprimono la posizione relativa di un elemento (o di una sua parte); le relazioni topologiche di tipo parte-unità descrivono un oggetto raggruppando elementi semplici all'interno un insieme unitario o di serie ordinate; le relazioni compositive sono diagrammi basati su regole per il controllo delle dimensioni e della posizione di elementi all'interno dell'organizzazione di una struttura generale. Con riferimento agli edifici storici, le relazioni da indagare con più attenzione sono quelle del tipo parte-unità, perché attengono ai problemi di composizione architettonica. Anche in questo caso, è possibile identificare tre categorie in cui si articolano tali relazioni. Le relazioni *parte-tutto* esprimono il modo in cui le parti di un oggetto sono organizzate per formare l'elemento; tale suddivisione corrisponde, in alcuni casi, all'articolazione fisica

dell'oggetto reale, in altri, a discontinuità geometriche. Il rapporto *membro-collezione* è alla base della classificazione tipologica, consente di organizzare gli elementi in categorie, rendendo più semplice il confronto tra diverse tipologie architettoniche. Le relazioni *componente-gruppo* esprimono invece le caratteristiche architettoniche e gli accorgimenti stilistici utilizzati attraverso l'analisi della composizione dell'edificio.

<sup>6</sup> Marotta, Lo Turco, 2014, p. 55.

<sup>7</sup> Cfr. Glossario, p. VI.

<sup>8</sup> Fonseca, F., Martin, J. 2005. Toward an Alternative Notion of Information System Ontologies: Information Engineering as a Hermeneutic Enterprise. "Journal of the American Society for Information Science and Technology", 56, 1, pp. 46-57.

<sup>9</sup> Ogni banca dati costituisce un archivio di informazioni, tra loro correlate, utilizzate per rappresentare una porzione del mondo reale. Sono strutturati in modo tale da consentire la gestione dei dati stessi in termini di inserimento, aggiornamento, ricerca e cancellazione delle informazioni. Quale che sia il software utilizzato per la manipolazione dei database, essi si compongono mediante una struttura che rimane comunque invariata, costituita da tabelle, query, maschere, report, macro e moduli, di seguito brevemente descritti.

Le tabelle sono collezioni di dati, solitamente relativi a uno stesso argomento, organizzati sotto forma di righe e colonne, che nella terminologia dei database sono nominate rispettivamente *record* e *campi*. Una *query* rappresenta l'interrogazione, più o meno complessa, di un database, eseguita al fine di estrarre determinati record contenuti in una o più tabelle. Le *maschere* sono schede che permettono la visualizzazione di dati di un database, e l'eventuale inserimento di nuove informazioni. I *reports* rappresentano i dati estratti dal database. Le *macro* sono strumenti operativi che consentono di eseguire una serie di operazioni in modo automatico, al fine di ottimizzare i tempi, mentre i

---

*moduli* sono veri e propri programmi, scritti nel linguaggio supportato dall'applicazione di database utilizzata.

<sup>10</sup> Cfr. Glossario, p. VI.

<sup>11</sup> Ugo, V. 1994, p.36.

<sup>12</sup> Ugo, V. 1994, p.36.

<sup>13</sup> Modalità per la conoscenza dell'architettura costruita o per l'analisi del progetto, basata sui principi del funzionalismo, che si serve dei diversi metodi di rappresentazione. Il metodo viene applicato da Mario Docci, che ne sviluppa le prime applicazioni in riferimento all'architettura moderna e contemporanea, riprendendo i concetti della semiologia. Si fonda sulla premessa che considera il disegno come un linguaggio che, in quanto tale, è costituito da segni e simboli che devono essere riconosciuti e compresi da chi riceve il messaggio. Con riferimento allo studio dell'architettura, l'analisi grafica si occupa di scomporre un organismo architettonico o un complesso urbano secondo livelli che approfondiscono diversi aspetti attraverso schemi, disegni e modelli 2D/3D. La definizione delle caratteristiche formali, funzionali, spaziali, tecnologiche offre una lettura completa degli elementi analizzati che consente una maggiore conoscenza del soggetto scelto e di poter effettuare studi comparativi o selezionare dagli aspetti di maggiore interesse le informazioni base per poter strutturare interventi progettuali. Per maggiori approfondimenti si vedano: Docci, M., 1989. *Disegno e rilievo: quale didattica?* *Disegnare: idee, immagini*. n. 0, 1989, pp. 37-55; Docci, M., 2009. *Disegno e analisi grafica*. Roma-Bari: Editori Laterza.

<sup>14</sup> Cfr. Glossario, p. III

<sup>15</sup> Ugo, V. 1994, p.144.

<sup>16</sup> Cfr. Glossario, p. III.

<sup>17</sup> Cfr. Glossario, p. III.

<sup>18</sup> I paradati descrivono l'interpretazione critica delle fonti da parte dello studioso che, in quanto tale, presuppone già un certo grado di affidabilità, ma contemporaneamente anche di soggettività. Stefano Brusaporci distingue i paradati in due tipologie, tra loro correlate. Quelli intrinseci riguardano le scelte effettuate per strutturare l'intero processo, gli strumenti utilizzati per la costruzione del modello e per la definizione del database associato. I paradati estrinseci, invece, riguardano la relazione tra visualizzazione digitale e la natura dei dati che descrivono i beni culturali analizzati. Per ulteriori approfondimenti si veda Stefano Brusaporci, 2017. *The importance of being honest: issue of transparency in digital visualization of architectural heritage*. In Alfonso Ippolito (ed.) *Handbook of research on emerging technologies for architectural and archaeological heritage*, pp. 66-93. Hershey, PA: IGI Global)

<sup>19</sup> I presupposti teorici e le applicazioni sono descritti nella tesi di dottorato dell'arch. Saverio Nicastro, dal titolo *L'integrazione dei sistemi di Building Information Modeling nei processi di conoscenza del Patrimonio Culturale* (Dottorato in Storia, disegno e restauro dell'architettura – Sapienza Università di Roma, ciclo XXX – 2014/2017, Tutor Prof. Carlo Bianchini).





#### 4. Sperimentazioni nell'ambito del patrimonio architettonico

La costruzione di modelli attraverso processi BIM risponde alla necessità di simulare la realtà immanente o di prefigurare futuri sviluppi progettuali. La composizione degli oggetti digitali deve far fronte a determinati requisiti, connessi tanto alla definizione ontologica degli stessi dal punto di vista semantico, quanto alla definizione parametrica delle variabili dimensionali dal punto di vista geometrico. Rendere questa metodologia di lavoro coerente ed efficace anche nel campo del patrimonio costruito offre grandi benefici legati all'utilizzo di modelli informativi complessi, che legano la simulazione dell'architettura alla sua lettura tramite gli elementi costitutivi. La modellazione parametrica di beni architettonici esistenti è un'attività complessa, sia in riferimento alla trasposizione geometrica della continuità delle superfici che definiscono gli oggetti reali, sia rispetto alla loro descrizione qualitativa e semantica.

In questo quadro, il ruolo più importante è quello assunto dalla conoscenza e dalla struttura di un ambiente digitale adatto alla gestione di dati eterogenei, all'archiviazione, alla modellazione, all'interrogazione degli stessi, e atto ad eseguire controlli semiautomatici i cui esiti sono forniti sotto diverse forme.

Tali attività seguono dei percorsi logici analoghi a quelli del campo delle nuove costruzioni; tuttavia, ci

sono alcune questioni specifiche che ne evidenziano le principali differenze. Nel caso della progettazione *ex novo*, è sempre possibile (se non addirittura ovvio!) disporre in anticipo di dati per la costruzione di modelli informativi complessi; per i modelli del patrimonio costruito, invece occorre considerare alcuni aspetti che garantiscano la corrispondenza tra i dati dell'oggetto reale e quelli del relativo modello BIM. Il primo riguarda la lettura degli edifici storici. Sebbene la riconoscibilità di elementi ricorrenti, seppur con determinate variazioni, sembri essere sufficiente per ritenere efficaci tali processi, in realtà la questione è più complessa perché guarda al manufatto architettonico a livello globale. Lavorare in ambiente BIM obbliga a stabilire l'articolazione tettonica degli oggetti digitali che compongono il modello virtuale, andando oltre l'apparenza delle superfici visibili della materia, esistente o di progetto, impostando il criterio da adottare nella scomposizione dell'architettura. I criteri per la scomposizione dell'architettura in relazione alla finalità per cui si costruisce il modello HBIM, attualmente, non sono stati ancora sistematizzati. Alcuni di essi potrebbero essere identificati, ad esempio, nell'articolazione del modello per fasi costruttive, nella composizione strutturale, o, ancora, nell'organizzazione semantica per elementi tipologici. A questo proposito, è

fondamentale definire lo scopo per cui i modelli BIM vengono costruiti, rintracciando quale (o quali) criterio di scomposizione dell'oggetto sia corretto o maggiormente adeguato rispetto all'obiettivo prefissato, quale tipologia di dato porta con sé ciascun criterio, se le eventuali compatibilità. Il tutto è mirato alla definizione di un protocollo che definisce aspetti di carattere teorico e metodologico e che consideri fondamentali, nella struttura di processi BIM per i beni culturali, non solo le operazioni condotte per la comprensione degli elementi studiati e la costruzione dei relativi modelli, ma anche la necessità di dichiarare il principio seguito.

Il secondo aspetto è legato al concetto di modello ideale. Le considerazioni finora esposte e i riferimenti allo stato dell'arte, dimostrano come il modello parametrico di edifici esistenti, a causa delle semplificazioni ragionate che lo caratterizzano, non può essere considerato una copia oggettiva della realtà che descrive, poiché è il frutto di valutazioni ed interpretazioni di diverse tipologie di dati. Ancora una volta è d'obbligo il paragone con le attività condotte nel campo delle costruzioni: mentre in questo caso il modello ideale coincide con il modello parametrico, realizzato mediante la composizione corretta e ordinata di elementi tecnologici stabiliti dal progettista, per le architetture storiche non si può ragionare nello stesso modo. Tuttavia, qualsiasi edificio esistente, in un determinato momento del suo ciclo di vita, è stato un edificio di nuova costruzione. In questo caso, allora, è possibile considerare il progetto del manufatto come l'oggetto di cui, analogamente a ciò che avviene per le nuove costruzioni, si può costruire il modello ideale, sfruttando completamente le potenzialità dell'approccio parametrico che caratterizza il BIM.

Questo si scontra però con due ordini di problemi: da una parte c'è la difficoltà di recuperare il progetto originale delle strutture analizzate, non sempre esistente o reperibile; dall'altra la necessità di integrare tale modello con informazioni legate alla storia dell'edificio e alle fasi che ne hanno determinato cambiamenti e trasformazioni significative fino a giungere allo stato attuale. La descrizione dello stato di fatto – il terzo aspetto da considerare – deve comprendere, ottimizzare e integrare le informazioni provenienti dalle attuali tecnologie di acquisizione 3D (scansione laser 3D, Structure from Motion) e dalle indagini non distruttive (termografia, GPR, ecc.). Questo passaggio si rivela fondamentale perché, sebbene non arricchisca direttamente il modello ideale in termini di semantica, comprende la definizione di un set di dati multiscalarari e multilivello che costituiscono comunque la base per il monitoraggio o la pianificazione di interventi.

Chiarire le modalità di interazione tra le due tipologie di modelli, quello ideale e quello rappresentativo della realtà esistente, costituisce l'ultimo punto di una strategia che può risultare vincente avendo come obiettivo la definizione di un processo BIM per gli edifici storici che sia coerente rispetto ai presupposti teorici e alle loro ripercussioni in termini operativi. Tale processo deve condurre alla costruzione di modelli rispettando tutte le premesse dell'approccio BIM: interoperabilità, simulazione dei processi di costruzione (dalla costruzione alla manutenzione e alla dismissione), integrazione tra dati 1D, 2D, 3D utilizzati per costruirlo, fornire la prova dell'affidabilità degli oggetti digitali secondo un approccio scientifico.

#### ***4.1 Definizione e struttura metodologica dell'approccio***

La ricerca affronta l'approccio ai processi HBIM rivolgendo particolare attenzione all'espressione della conoscenza dei manufatti storici, intesa nel senso più ampio del termine. La conoscenza di un edificio esistente è strettamente connessa all'identità storico-costruttiva dell'organismo architettonico e delle sue componenti. Gli eventi che hanno contribuito alla definizione di tale identità vanno indagati congiuntamente alle caratteristiche riscontrabili sulle costruzioni al loro stato attuale. Entrambi vanno parametrizzati secondo le logiche dei processi BIM e collegati tra di loro attraverso un opportuno sistema di proprietà e regole. Questi sono stati i presupposti da cui partire per delineare alcune buone pratiche, che riguardano la costruzione dei modelli, intesi come il frutto delle scelte condotte sia rispetto alla tipologia architettonica analizzata e al criterio seguito per la sua scomposizione, sia alla quantità e la qualità delle informazioni disponibili. L'approccio seguito vuole definire un flusso di lavoro efficace che prenda in esame i temi della conoscenza, della modellazione e dell'interazione tra dati eterogenei. Il presente studio viene condotto su due casi di studio che, secondo un approccio crescente rispetto alla complessità degli edifici analizzati, confronta il processo seguito per l'Istituto di Botanica, costruito all'interno della città universitaria Sapienza a Roma e per il Tempio del divo Claudio a Roma (Fig. 4.1). Il primo è un edificio di stampo razionalista, costruito tra il 1932 e il 1935, che ben si presta ad essere studiata attraverso processi BIM per le sue caratteristiche tipologiche, geometrico-morfologiche, e per la presenza di elementi ricorrenti e standardizzati. Il secondo costituisce un esempio di

architettura storica e stratificata, risalente al '50, resa ancor più complessa dalla evidente commistione tra archeologia e architettura. Proprio la diversità delle due fabbriche e l'analisi delle loro peculiarità permetterà di comprendere e sistematizzare i processi seguiti, validandone la struttura, rispetto alle seguenti problematiche: il rapporto tra la modellazione semantica e la continuità delle superfici che definiscono elementi del patrimonio architettonico esistente; la relazione tra la standardizzazione delle componenti su cui si fondano i processi BIM e le irregolarità geometriche e l'eterogeneità materica; l'affidabilità dei modelli costruiti e la valutazione dello scarto, in termini non solo metrici ma anche concettuali, tra la definizione di un modello parametrico ideale, caratterizzato da una forte componente interpretativa, e l'oggettiva precisione del rilievo.

Lo scopo di ottenere modelli comparabili rispetto alla quantità e alla qualità dei dati e alla tipologia di modelli, ha guidato la definizione di un processo ripetuto per entrambi gli edifici studiati. Lo sviluppo metodologico della ricerca ha previsto un'articolazione in quattro fasi. La prima comprende le indagini di natura archivistica e bibliografica sui manufatti analizzati e sul contesto in cui nascono. Le informazioni raccolte, da una parte costituiscono un valido supporto alle attività di rilievo nello studio e nell'analisi dei casi studio; dall'altra, vanno tradotte in oggetti digitali per poter sviluppare, ampliandolo quanto più possibile, il database di dati eterogenei da associare ai modelli informativi costruiti. La seconda fase, più tecnica, coincide con la documentazione dello stato di fatto attraverso le operazioni di acquisizione massiva e di elaborazione dei dati per ottenere modelli numerici. Questo momento ha



*Fig. 4.1 L'Istituto di Botanica alla città universitaria (a sinistra) e il Tempio del divo Claudio (a destra), entrambi a Roma*

previsto anche la definizione di software e applicativi da utilizzare, in entrambi i casi, al fine di poter lavorare con dati omogenei dal punto di vista formale, quindi comparabili<sup>1</sup>. La terza fase prende avvio dall'analisi dei dati di rilievo per giungere alla costruzione di modelli parametrici, definendo dapprima il criterio per la scomposizione dell'architettura presa in esame in elementi più semplici, poi la relazione tra questo modello con il quello di progetto (il modello ideale), infine il collegamento con tutti i dati che ne ampliano il contenuto informativo. La quarta ed ultima fase

riguarda l'analisi dei risultati raggiunti, la verifica delle potenzialità e degli aspetti critici del processo in termini di affidabilità, geometrica e ontologica, di elaborazione grafica dei risultati, di scambio dati, di interoperabilità e di interattività.

La sperimentazione sui casi esaminati ha consentito di valutare l'adeguatezza di alcune riflessioni teoriche relative all'attualità di alcuni principi fondamentali nel settore disciplinare della rappresentazione, e alla loro estensione per un corretto utilizzo dei processi BIM, contribuendo alla definizione di strategie per garantire quel rigore scientifico da cui non si può prescindere in

qualsiasi attività che abbia ad oggetto il Patrimonio Culturale.

#### 4.2 Architettura moderna: l'edificio di Botanica alla città Universitaria, Roma

L'architettura moderna costituisce una parte consistente dell'insieme degli edifici pubblici presenti in Italia. A livello generale, delineare delle linee guida rispetto ai problemi della conoscenza di una vasta porzione del patrimonio architettonico ha come obiettivo quello di semplificare le esigenze gestionali poste in essere da parte della pubblica amministrazione per la pianificazione di interventi di manutenzione o restauro di tali manufatti. Entrando nello specifico studio delle architetture razionaliste, è evidente come in esse sia possibile rintracciare delle caratteristiche comuni, formali e costruttive. La composizione ordinata di geometrie regolari, il rigore delle soluzioni spaziali, la ripetizione di elementi compositivi e dettagli architettonici, le rendono particolarmente adatte all'applicazione delle modalità di conoscenza e modellazione che caratterizzano i processi HBIM. In questo quadro si inserisce l'esperienza sull'Istituto di Botanica, che rientra in una sperimentazione più ampia rivolta agli edifici della Città universitaria di Roma. Lo studio, attualmente ancora in corso di svolgimento, ha come obiettivi l'archiviazione di dati relativi agli edifici della Sapienza e la loro gestione tramite processi di *Facility Management*<sup>2</sup>.

##### 4.2.1 Cenni storici

L'opera di Giuseppe Capponi viene annoverata tra le costruzioni moderne che caratterizzano il panorama

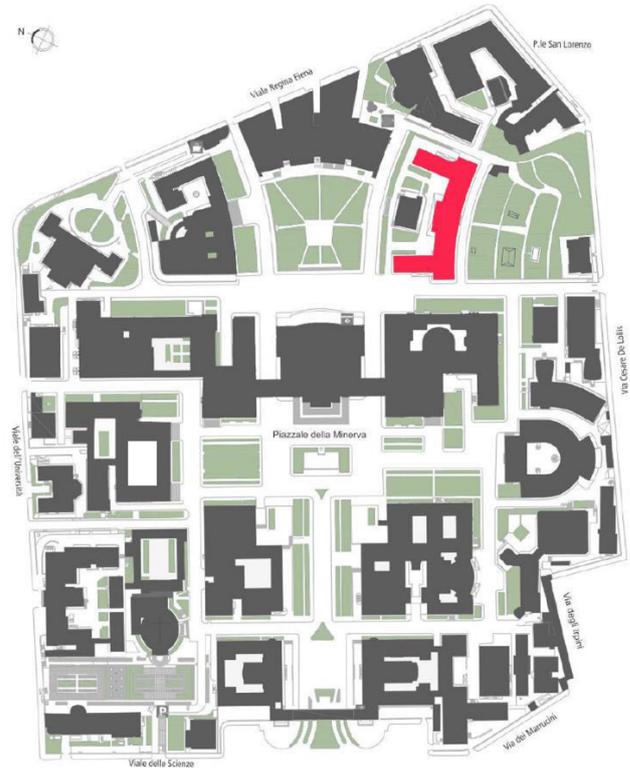


Fig. 4.2 Planimetria generale della città universitaria ed individuazione dell'Istituto di Botanica.

architettonico della prima metà del Novecento. L'Istituto di Botanica rappresenta, insieme all'Edificio per la Scuola di Matematica di Gio Ponti, l'edificio più raffinato e luminoso tra tutti quelli della Città universitaria di Roma, realizzata tra il 1932 e il 1935 (Fig. 4.2; Fig. 4.3). Essa si afferma, sia dal un punto di vista organizzativo e tecnico, sia dal punto di vista storico-artistico, come una delle più caratteristiche realizzazioni e delle tappe significative dello sviluppo architettonico italiano moderno. L'architetto Marcello Piacentini, incaricato di realizzare questo grande complesso, chiamò alcuni giovani architetti italiani a collaborare alla progettazione degli edifici,



*Fig. 4.3 L'Istituto di Botanica. Vista del prospetto di ingresso.*

rispondendo così alla volontà del Duce di rendere la nuova Università di Roma la migliore espressione del genio architettonico e costruttivo italiano dell'era fascista. Piacentini organizza un ufficio tecnico per curare, insieme alla sistemazione generale, ogni progetto fin nei minimi dettagli, dalla scelta dei materiali, alla costituzione dei capitolati d'appalto, all'organizzazione dello sviluppo dei disegni esecutivi.

Giuseppe Capponi prese in carico la progettazione dell'Istituto di Botanica considerando immediatamente l'impostazione planimetrica

dell'impianto dell'intero complesso universitario, impostato su assi e su un assetto gerarchico, in cui gli spazi sono reciprocamente connessi secondo la loro importanza. A questo proposito, alcuni storici sottolineano come Capponi considerò marginale la condizione riservata all'edificio assegnatogli: esso sarebbe stato collocato nella parte retrostante del Rettorato, per cui avrebbe avuto sicuramente minore importanza rispetto alle altre costruzioni. In effetti, in tutta la parte a sud, che precede l'edificio più importante della città universitaria, la struttura è



*Fig. 4.4 L'Istituto di Botanica. Dettaglio delle torri vetrate.*

impostata su un asse centrale a cui vengono riferite sia le singole unità architettoniche, sia il trattamento degli spazi esterni. Alle spalle del Rettorato, invece, lo spazio vuoto è delimitato solo dai due edifici di Fisiologia e di Botanica. Tuttavia, Capponi cerca di contrastare questa condizione marginale proponendo un edificio con una freschezza espressiva superiore a quella delle compatte costruzioni realizzate dai suoi colleghi. La sua ricerca architettonica si esprime attraverso la «partecipazione della luce e dell'atmosfera, solidificate in masse e volumi»<sup>3</sup>.

L'istituto di Botanica, caratterizzato da un corpo centrale a pianta curva con due ali anteriori, si distingue principalmente per la presenza delle due torri vetrate destinate ad ospitare musei ed erbari, situate sul fronte principale (Fig. 4.4). I due corpi longitudinali, curvilinei, ospitavano rispettivamente le aule e i servizi di Botanica e Chimica Farmaceutica; al centro di questa grande corte aperta, una grande vasca d'acqua. La facciata posteriore (Fig. 4.5), invece, ospita grandi serre che costituiscono quello che potrebbe essere definito come una sorta di basamento di vetro del fabbricato, rivolto verso un vasto orto botanico oggi non più esistente. Le due ali, a destra e a sinistra del corpo centrale, ospitano aule e servizi che restano indipendenti dal corpo centrale, destinato a studi e alle biblioteche. L'ossatura della struttura è in cemento armato, mentre le facciate alternano un rivestimento in lastre in travertino romano (Fig. 4.6) ad una cortina di mattoncini in litoceramica color bruno, applicata seguendo soluzioni molto interessanti

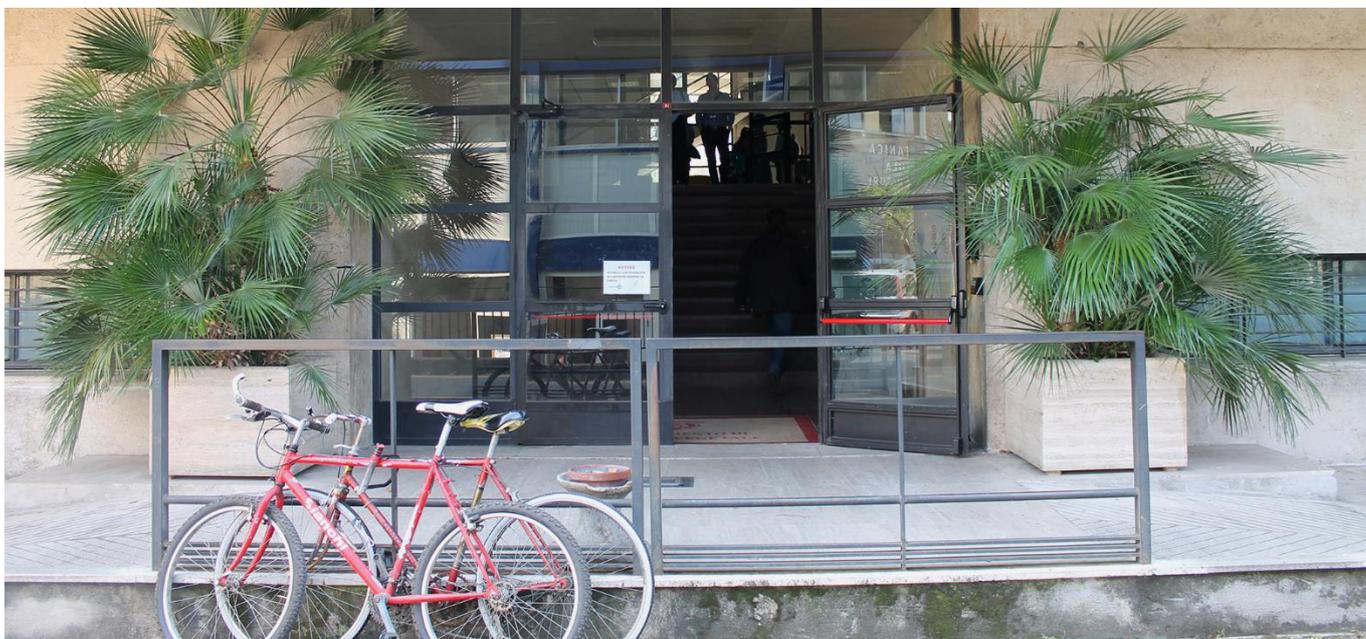
per risolvere gli spigoli attraverso la particolare disposizione dei pezzi. Entrambi i materiali trovano un grande impiego anche in molti altri edifici della città universitaria, così come gli infissi e i serramenti esterni, oggetto di un approfondito studio da parte dell'ufficio tecnico<sup>4</sup>.

Di notevole pregio sono i pilastri tra le finestre disposte longitudinalmente, realizzati in mattoni di vetro, e la struttura impiegata per le torri, le cui vetrate sono appese, piano per piano, alle solette. Altre particolari applicazioni riguardano gli intonaci acustici di pomice utilizzati per il rivestimento delle aule, i solai leggeri di cemento armato su cassette o tavelloni di rete metallica, le grandi pensiline in vetro-cemento. Non vanno dimenticati gli arredi, realizzati in base ai criteri di semplicità e funzionalità, mediante l'impiego di legno e metallo (Fig. 4.7; Fig. 4.8).

Dal 1962, in seguito al trasferimento dell'Istituto di Chimica Farmaceutica in una nuova struttura realizzata accanto alla Scuola di Matematica, l'edificio ha subito alcune variazioni distributive interne di lieve entità, che non hanno compromesso la struttura formale del progetto originario. Un altro intervento ha riguardato la realizzazione di una struttura prefabbricata, collocata nel 1969 nella zona antistante la scalinata di ingresso. Il volume blu, che ancora oggi contiene al suo interno delle aule e degli ambienti al piano seminterrato, risulta totalmente incoerente con il contesto architettonico di cui fa parte, interrompendo la simmetria e l'eleganza della bicromia del marmo e del travertino (Fig. 4.9).



*Fig. 4.5 L'Istituto di Botanica. Vista del prospetto posteriore.*



*Fig. 4.6 L'Istituto di Botanica. Dettaglio dell'ingresso principale.*



*Fig. 4.7 L'Istituto di Botanica. Dettaglio della biblioteca.*



*Fig. 4.8 L'Istituto di Botanica. Dettaglio della biblioteca..*



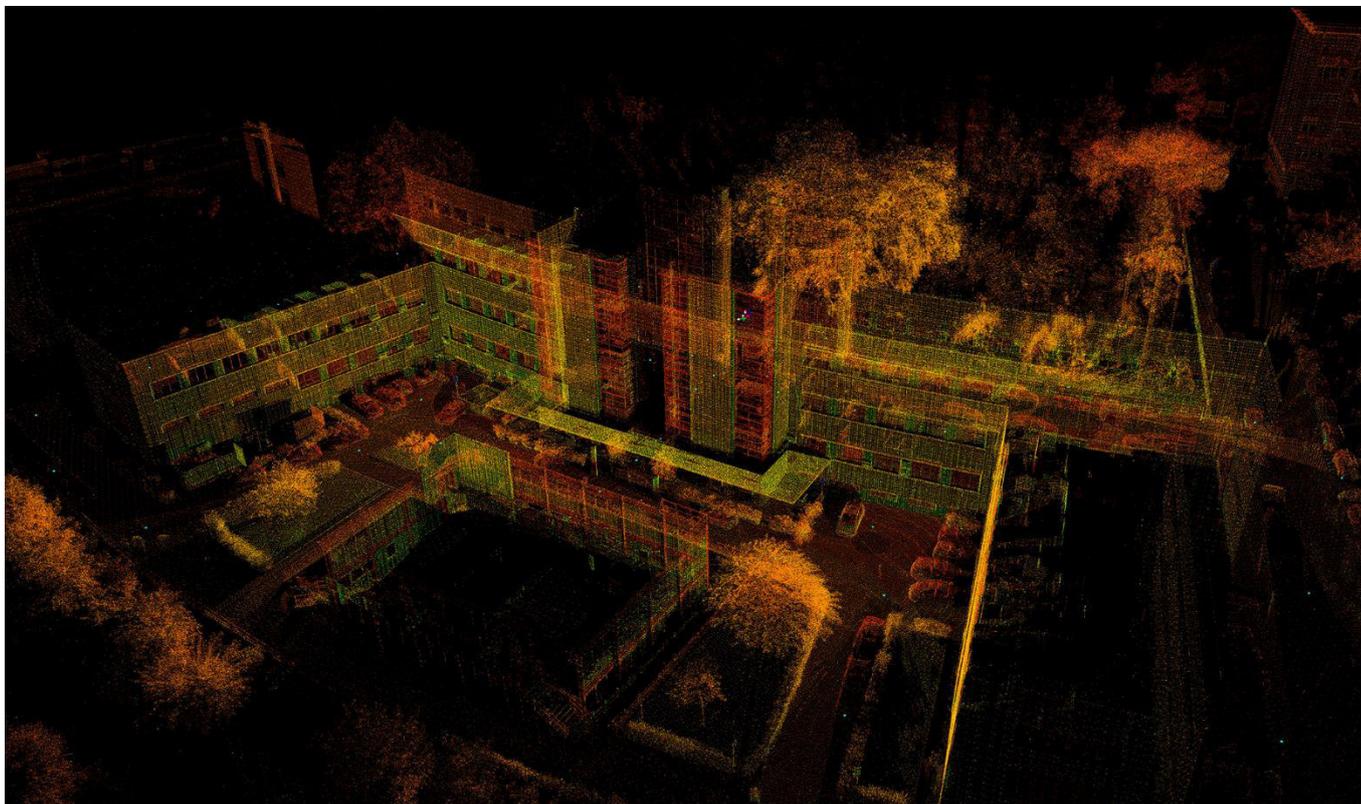
Fig. 4.9 L'Istituto di Botanica. Dettaglio del prospetto principale.

#### 4.2.2 Rilevamento integrato

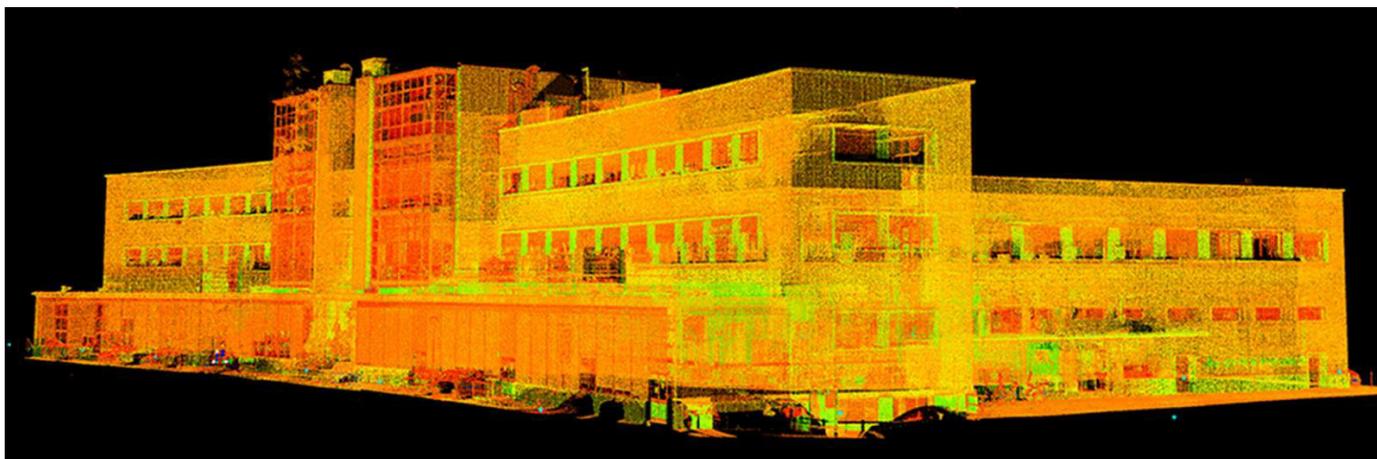
L'istituto di Botanica si presenta oggi come una particolare realizzazione architettonica, caratterizzata dal dialogo serrato tra masse compatte e simmetriche con volumi e superfici trasparenti. Il complesso si distingue dagli altri edifici della città universitaria per la compresenza di corpi orizzontali ed elementi dallo sviluppo verticale, che, insieme alle profonde finestre a nastro e al basamento trasparente del prospetto posteriore, testimoniano una sensibilità architettonica fortemente influenzata dal razionalismo europeo. La struttura è costituita da diverse emergenze che esprimono un'unità formale ma soprattutto funzionale di insieme, che ha reso necessario delineare un progetto di rilievo dell'opera che tenesse conto degli

aspetti generali e di quelli di dettaglio, affiancando all'analisi metrica del dato quella dell'aspetto materico tangibile. A seguito di una prima fase di documentazione storica è stato condotto un rilevamento strumentale integrato<sup>5</sup> (Fig. 4.10.1; Fig. 4.10.2; Fig. 4.11.1; Fig. 4.11.2), unitamente a una attenta e puntuale campagna fotografica, che ha consentito di programmare le tempistiche e la logistica concentrando le operazioni in poche giornate lavorative.

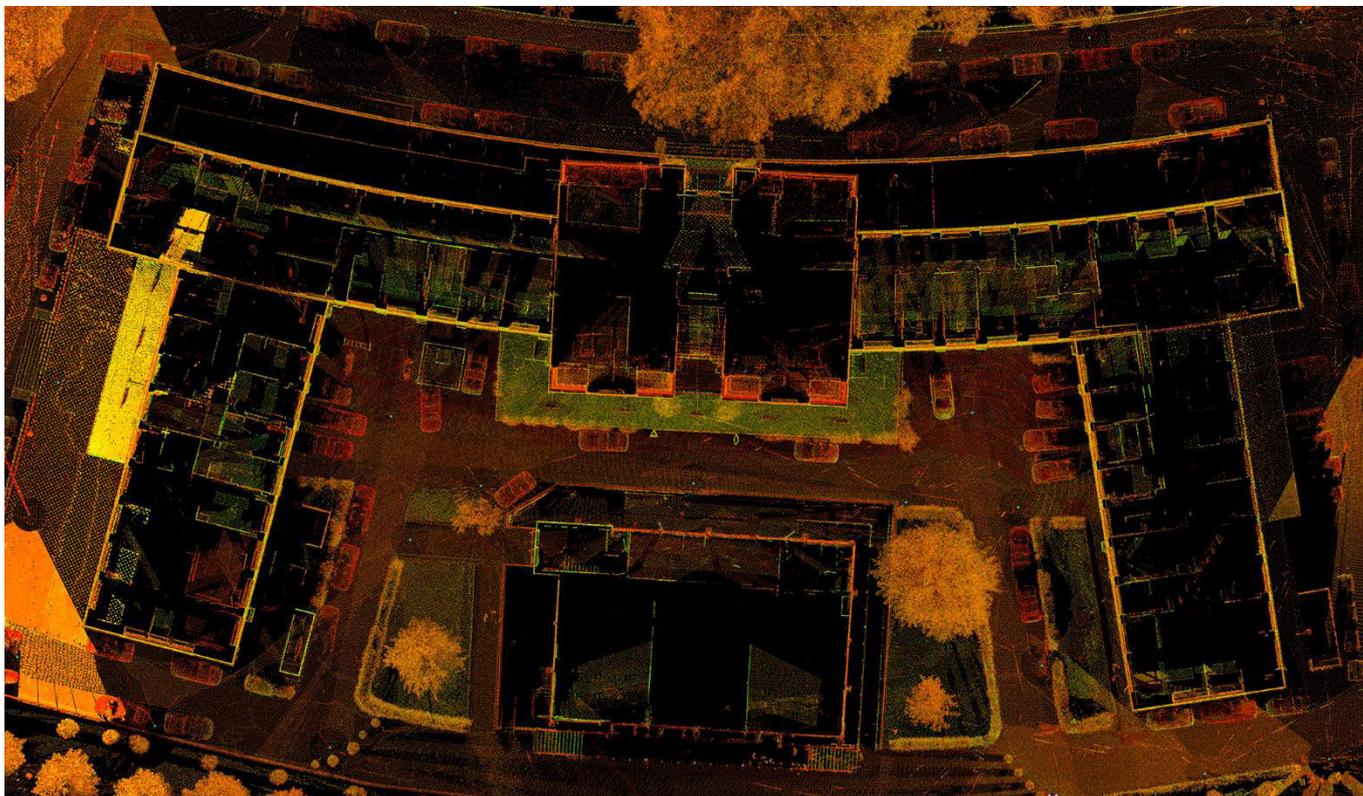
La forte solidità delle masse da analizzare, combinate alle dimensioni dell'edificio in esame, giustificano una fitta rete di scansioni laser, effettuate lungo tutto il perimetro dell'edificio e all'interno dell'atrio con un *sample spacing*<sup>6</sup> di 1x1 cm e un *probe*<sup>7</sup> variabile. Lo spazio interno (ad eccezione per l'atrio di ingresso) (Fig. 4.12), a causa dell'articolazione in ambienti



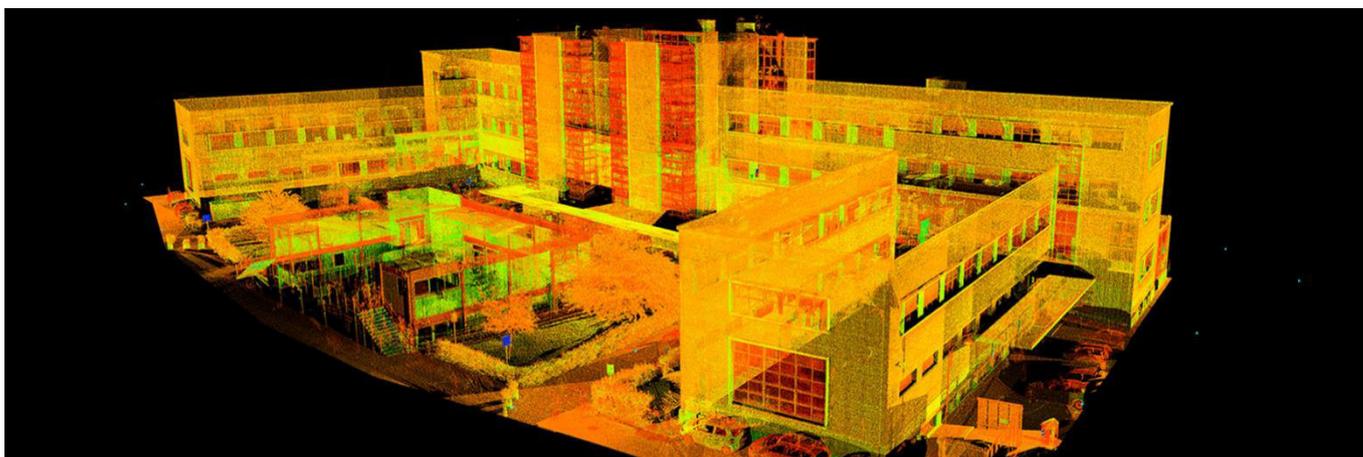
*Fig. 4.10.1 L'Istituto di Botanica. Vista prospettica del modello numerico, visualizzazione RGB riflettanza.*



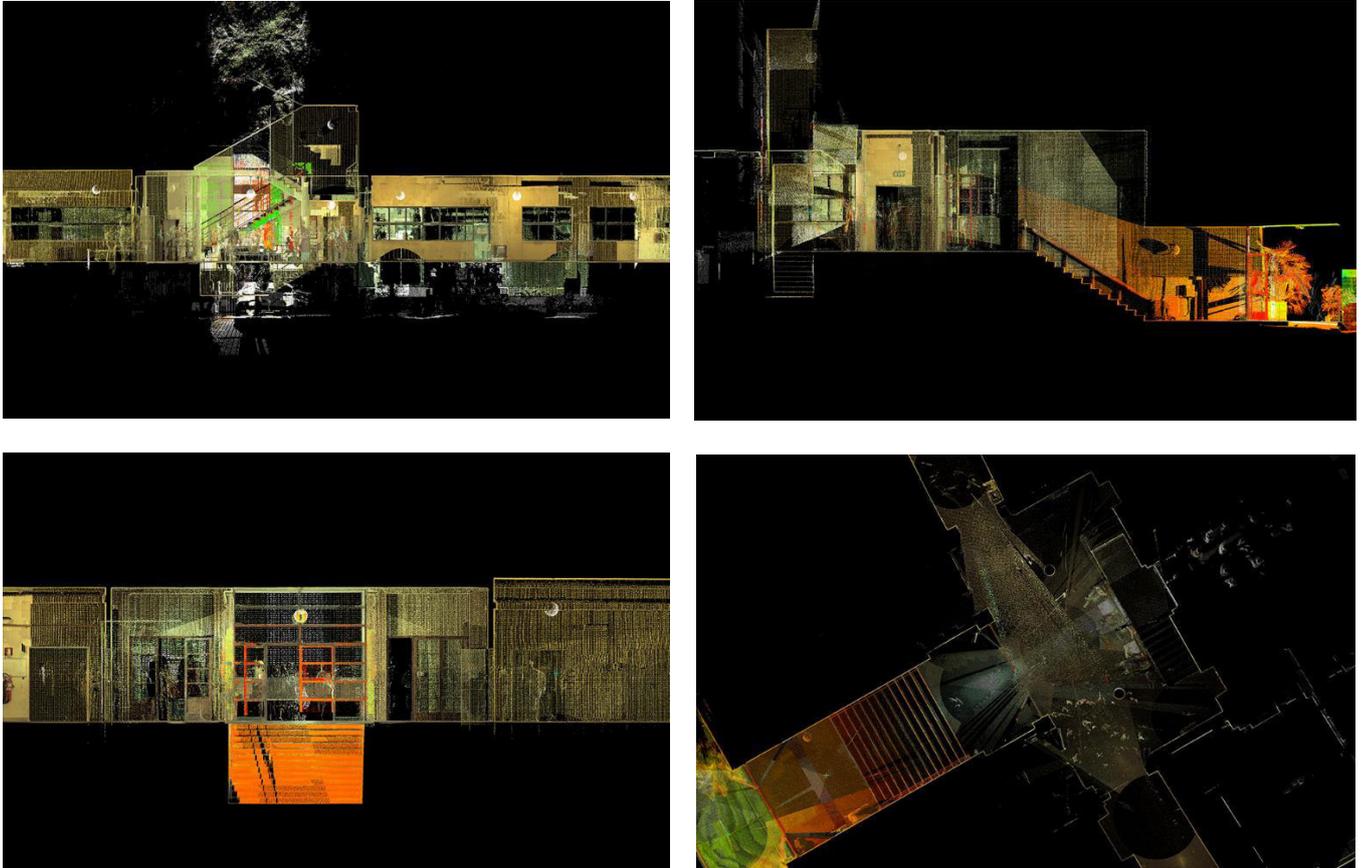
*Fig. 4.10.2 L'Istituto di Botanica. Vista prospettica del modello numerico, visualizzazione RGB riflettanza.*



*Fig. 4.11.1 L'Istituto di Botanica. Vista planimetrica del modello numerico, visualizzazione RGB riflettanza.*



*Fig. 4.11.2 L'Istituto di Botanica. Vista prospettica del modello numerico, visualizzazione RGB riflettanza.*



*Fig. 4.12 L'Istituto di Botanica. Sezioni del modello numerico dell'atrio, visualizzazione RGB riflettanza*

destinati ad aule e uffici, è stato rilevato attraverso metodologie dirette e tramite SfM, entrambe note per la velocità di esecuzione.

I modelli numerici registrati sono stati successivamente integrati con le informazioni derivanti dal rilevamento diretto per avere un quadro conoscitivo il più possibile completo della struttura

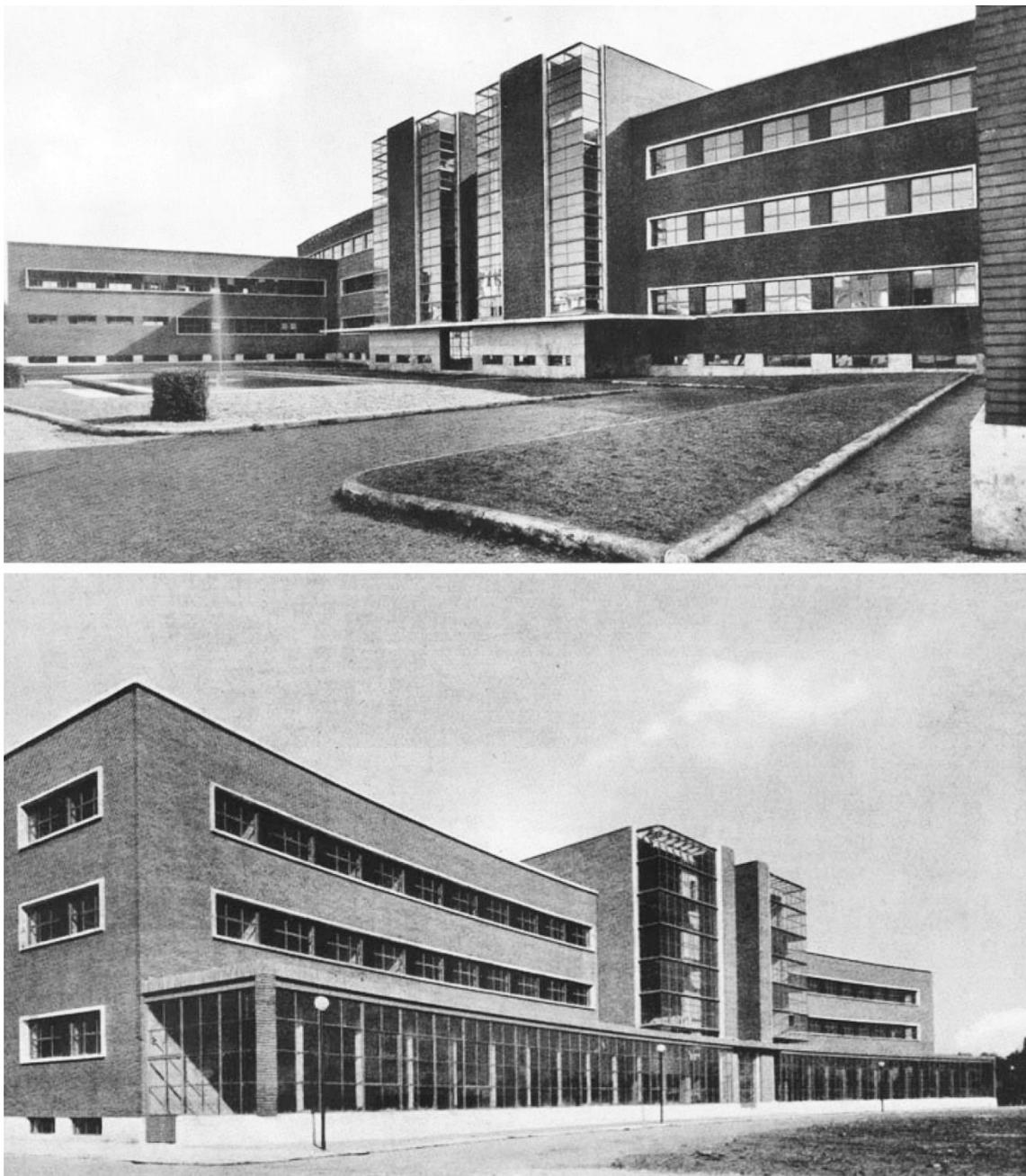
analizzata. La lettura dell'articolazione dell'edificio, la cui simmetria e assialità ben si apprezzano anche da una prima osservazione, è stata sviluppata anche rispetto alle caratteri formali, spaziali e compositive dell'intero organismo, al fine di utilizzare i dati derivanti dall'analisi per una corretta impostazione del modello parametrico successivamente realizzato.

### 4.2.3 *La costruzione del modello BIM*

L'edificio razionalista progettato dal Capponi risulta particolarmente adatto all'interno di una sperimentazione che prevede la costruzione di modelli secondo processi BIM. Le caratteristiche morfologiche, formali e stilistiche dell'opera, e quelle tipologiche degli elementi che concorrono a definirne l'assetto, consentono di analizzare le potenzialità e le criticità di un approccio parametrico. Nell'Istituto di Botanica, inoltre, è possibile riscontrare regole compositive e di aggregazione tra gli elementi che, un po' per la contemporaneità della costruzione, un po' per la categoria stilistica cui fa riferimento, rappresenta un caso molto vicino a quelli con cui si opera nell'ambito della nuova progettazione. Questa premessa consente di delineare un interessante scenario di ricerca che collega le ragioni proprie della conoscenza con quelle più tecniche, pratiche e gestionali. La modellazione dell'edificio di Botanica necessita di specifici approfondimenti, volti ad ottimizzare e a rendere il più possibile completa la costruzione del modello attraverso processi BIM. Tali approfondimenti richiamano, da un lato, i temi della documentazione e della catalogazione come momenti fondamentali di una prassi operativa, dall'altro, il processo di costruzione e le modalità rappresentative dei modelli per l'architettura razionalista. L'analisi dell'architettura moderna è spesso associata ad un'ampia documentazione del progetto (Fig. 4.13; Fig. 4.14), che consente di avere informazioni su tutto ciò che non è direttamente rilevabile, o che richiederebbe interventi distruttivi. Riconosciuto il ruolo, la disponibilità e la qualità di tali informazioni, l'elaborazione del modello richiede di definirne gli elementi. Date le finalità del presente studio, è

semplice capire come tali componenti siano relativi allo spazio esterno e a quello interno, e che la comprensione dei caratteri costitutivi dell'architettura, sebbene parta dalla contestualizzazione dell'edificio nel contesto urbano, arrivi fino al dettaglio. La sperimentazione condotta sull'architettura moderna propone una modellazione che si spinge fino alla rappresentazione dell'apparecchiatura costruttiva, orientata secondo le componenti architettoniche: elementi strutturali (telai o sistemi murari), le tamponature, gli infissi, le finiture, ecc. La modellazione degli elementi semanticamente distinti procede in base alla tipologia costruttiva, al materiale, alla posizione che occupano all'interno dell'oggetto architettonico. Essa considera non solo gli elementi visibili, ma anche quelli nascosti, che richiede modalità di scomposizione e ricostruzione caratterizzate da un alto livello di dettaglio.

Dato per assunto, quindi, che il processo HBIM si costituisca come la sintesi tra la decostruzione dell'architettura analizzata e la sua ricostruzione all'interno della piattaforma *BIM authoring* scelta, risulta necessario comprendere qual è il criterio da seguire per "scomporre la scatola", in modo tale da ottimizzare procedure e risultati. Un'attenta indagine del dato di rilievo ha consentito di estrarre informazioni sull'impianto geometrico e sull'articolazione spaziale dell'edificio in esame, identificandone le giaciture, quindi gli elementi portanti e i relativi assi strutturali, poi le tamponature, le chiusure orizzontali e verticali, le aperture e gli elementi di collegamento verticali, infine i materiali di finitura esterni, i rivestimenti interni, e gli impianti tecnologici (Fig. 4.15; Fig. 4.16). L'obiettivo di modellare le diverse componenti secondo un processo che anela alla più completa conoscenza, ha in qualche



*Fig. 4.13 L'Istituto di Botanica. Il prospetto di ingresso e quello posteriore. Immagini tratte da: Guidi, Francesco. 1935. L'Istituto di Botanica e Chimica farmaceutica – arch. Giuseppe Capponi. In Casa dell'Architettura di Latina, 1935 – XIV numero speciale. La Città Universitaria di Roma, pp. 65-66.*

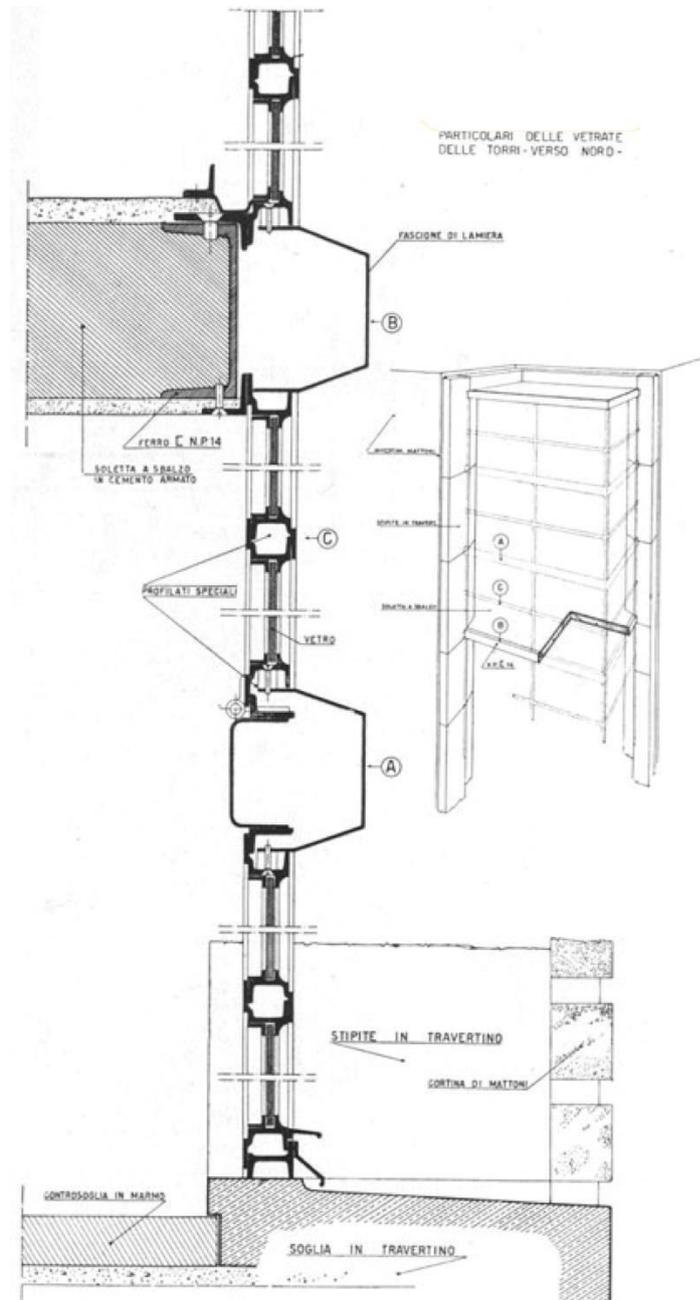
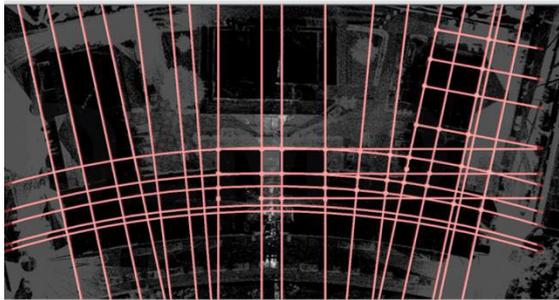


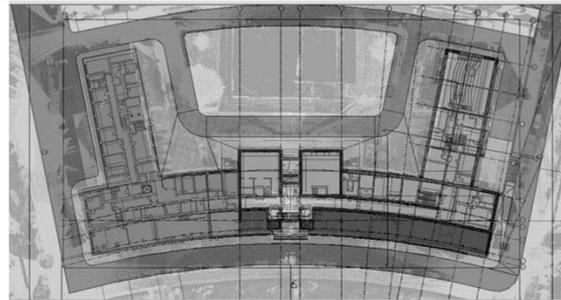
Fig. 4.14 L'Istituto di Botanica. Dettaglio delle vetrate delle torri. Immagine tratta da: Guidi, Francesco. 1935. Caratteristiche tecniche e organizzazione esecutiva delle opere nella Città Universitaria. In Casa dell'Architettura di Latina, 1935 - XIV numero speciale. La Città Universitaria di Roma, p.86.

1

Definizione delle giaciture

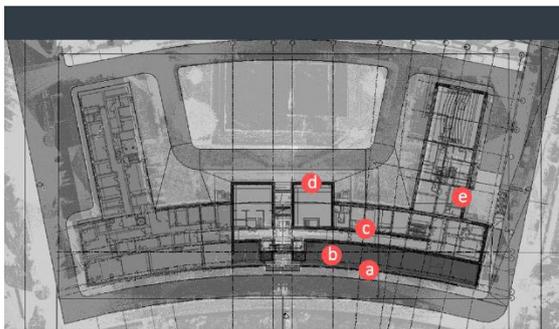


pianta piano rialzato



2

strutture verticali



pianta piano rialzato

a 62x54 cm H 400 cm      b 50x70 cm H 400 cm      c D 50 cm H 400 cm

d Piano rialzato



1. Intonaco di calce e gesso  
2. Mattoni forati  
3. Intercapedine  
4. Mattoni pieni  
5. Malta cementizia  
6. Lastre travertino

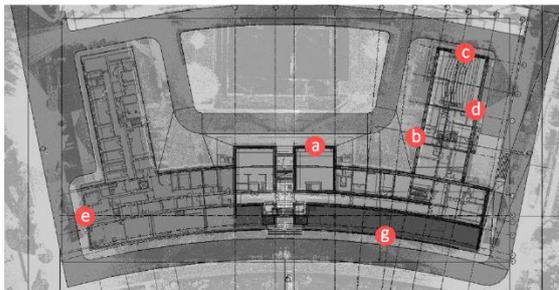
e P1/P2/P3



1. Intonaco di calce e gesso  
2. Mattoni forati  
3. Intercapedine  
4. Mattoni pieni  
5. Malta cementizia+ mattoncini in litoceramica

3

chiusure orizzontali



pianta piano rialzato



Fig. 4.15. L'Istituto di Botanica. Scomposizione dell'architettura.

# 4

## Strutture portanti orizzontali

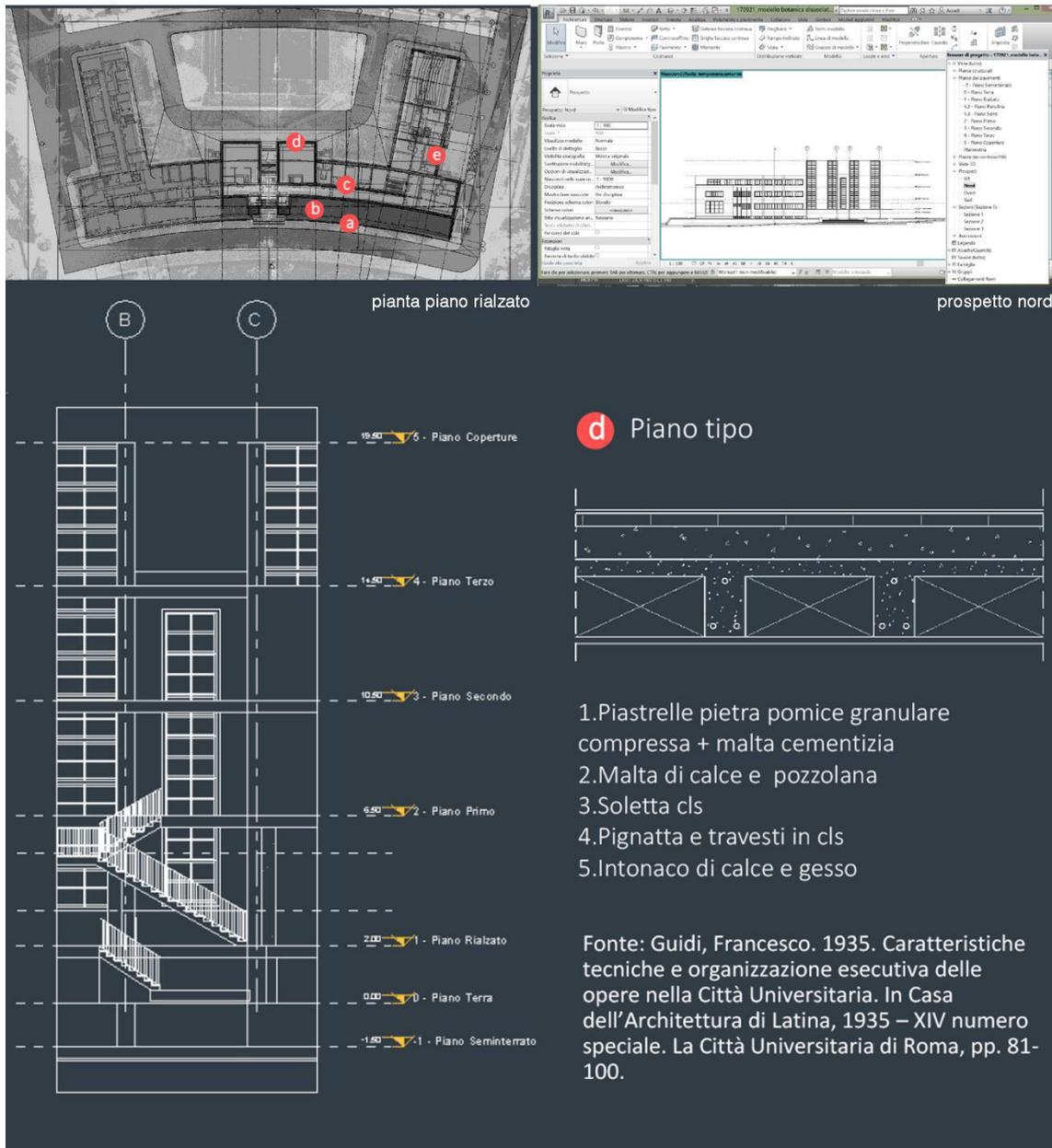


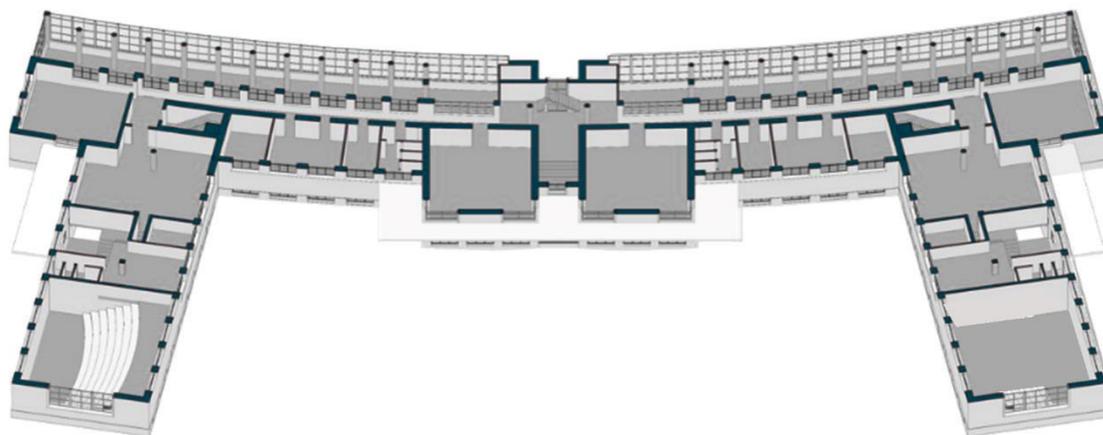
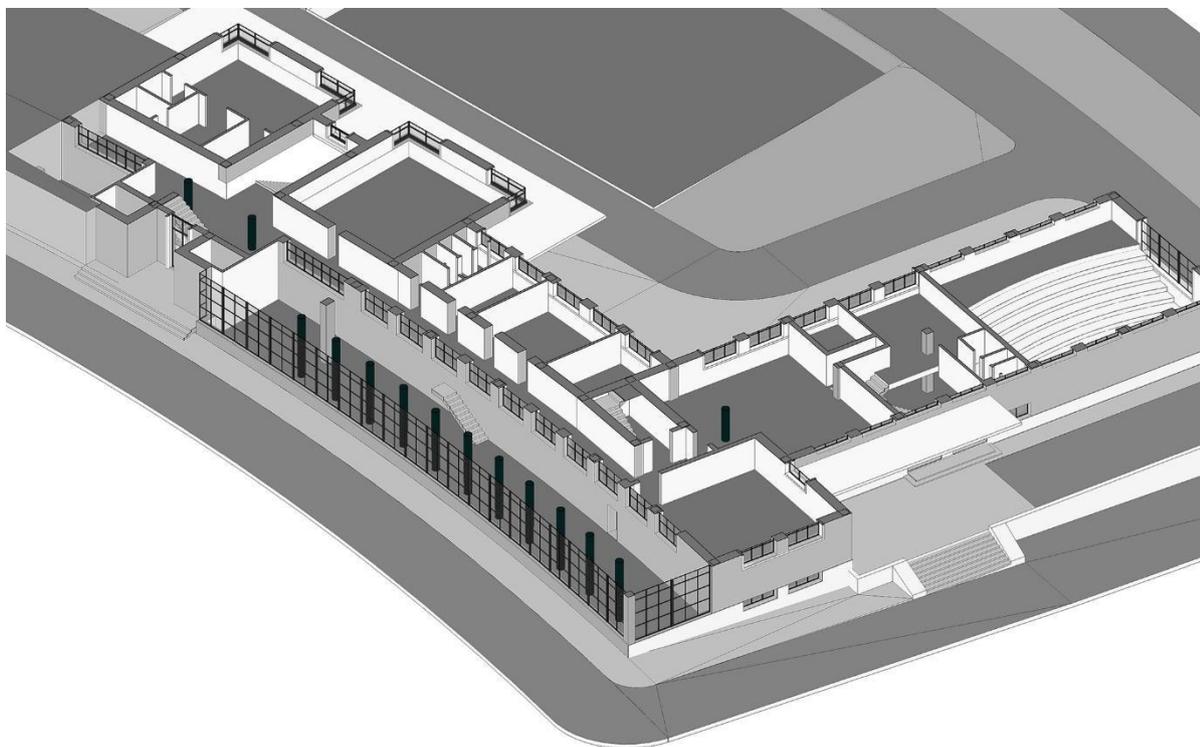
Fig. 4.16. L'Istituto di Botanica. Scomposizione dell'architettura.

modo imposto l'utilizzo di una metodologia che, a differenza di ciò che avviene nelle classiche operazioni di modellazione, non procede dal generale al particolare. Si tratta di conoscere e riconoscere l'elemento non solo dal punto di vista geometrico-morfologico, ma nella sua costituzione a livello di dimensioni, materiali, tipologia e modalità di impiego nel più generale contesto del progetto analizzato, evidenziando il parallelismo tra i processi BIM e le pratiche costruttive di cantiere. Per tali operazioni è stato fondamentale tutto il materiale informativo, testuale, grafico e fotografico, fornito dall'ufficio tecnico e reperito in fase di documentazione, che descrive nel dettaglio anche la posizione di impianti e canalizzazioni (fatte passare all'interno dello spessore dei muri, in modo tale da risultare facilmente accessibile), vernici e tinteggiature.

L'impianto simmetrico dell'edificio, la sua riconoscibilità geometrica e la ripetizione degli elementi, hanno rappresentato il punto di partenza nell'approccio seguito. Il processo di costruzione del modello ha seguito la stessa logica delle operazioni di conoscenza, partendo dalla definizione delle griglie di riferimento, al fine di individuare immediatamente la maglia strutturale dell'edificio, realizzata con pilastri in cemento, e i fili fissi di elementi architettonici come le pareti di tamponamento esterno, i muri divisorii interni, le bucaure (Fig. 4.17). Griglie, fili fissi e livelli costituiscono le regole geometriche per gli elementi, legati così da relazioni di tipo parametrico. La struttura del modello a partire da tali componenti, comporta quindi, fin dalle prime fasi di impostazione, una discretizzazione e una rettifica delle geometrie che definiscono gli elementi del progetto, ponendosi in modo coerente con lo stato di fatto, documentato dal rilievo. La serialità degli elementi, riscontrata sia sulle

facciate che nelle soluzioni interne, è stata gestita all'interno del modellatore sia per la struttura portante, che alterna pilastri dalle diverse geometrie, sia per le chiusure verticali, opache e trasparenti, sia per i mattoncini e le lastre di travertino che costituiscono i rivestimenti esterni (Fig. 4.18; Fig. 4.19).

Gli elementi architettonici sono stati modellati partendo da operazioni di *editing* delle famiglie caricabili<sup>8</sup>: murature, parteti interne, solai interpiano e di copertura sono stati costruiti con l'obiettivo di raggiungere il massimo livello di dettaglio. Le informazioni disponibili si sono dimostrate esaustive rispetto alla definizione della geometria dei profili, della stratigrafia interna, dei materiali di finitura. La modellazione dei componenti, strutturata secondo i criteri della semantica che caratterizzano gli oggetti BIM, ha previsto modifiche legate alla personalizzazione degli oggetti digitali appartenenti ad un manufatto che, seppur semplice, presenta soluzioni architettoniche attente e opportunamente progettate per il caso di studio esaminato (Fig. 4.20). L'analisi incrociata tra i dati di rilievo e le fonti d'archivio ha consentito di definire alcuni parametri e attributi di partenza dell'oggetto digitale, quali lo spessore delle pareti, la tipologia dello strato di supporto, la tipologia di rivestimento esterno in lastre di travertino romano o in mattoni di litoceramica, e la tipologia del rivestimento interno ad intonaco. La modellazione di pilastri, murature, solai e scale è stata condotta quindi modificando i parametri costruttivi e dimensionali di componenti tridimensionali già presenti nella piattaforma utilizzata per la costruzione del modello, perché chiaramente correntemente impiegati nel campo della progettazione. Gli elementi dalla configurazione più particolare, quale il muro con il basamento e la pensilina del piano rialzato, sono stati



spaccato assonometrico piano rialzato

Fig. 4.17. L'Istituto di Botanica. Building Information Modeling, vista del piano rialzato.

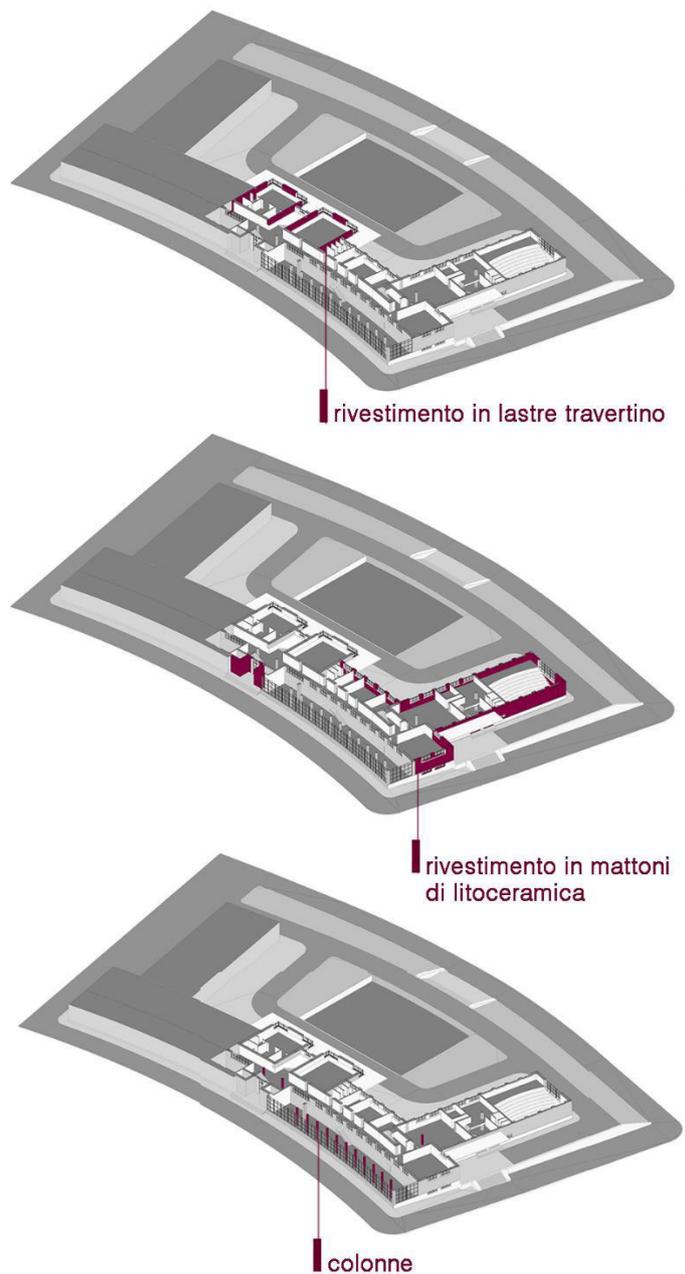


Fig. 4.18. L'Istituto di Botanica. Ricostruzione dell'architettura e degli elementi costitutivi: le strutture verticali..

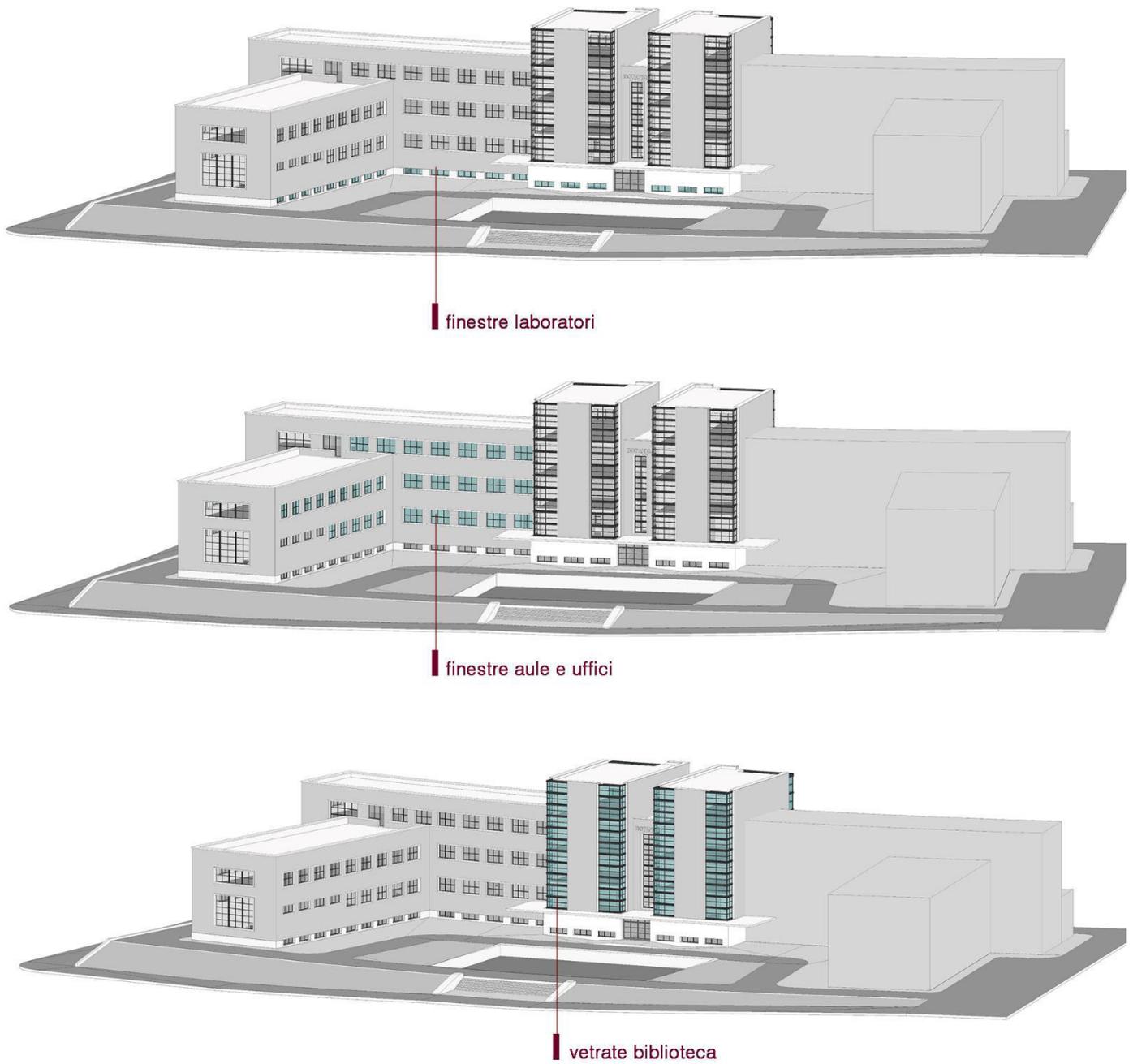


Fig. 4.19. L'Istituto di Botanica. Ricostruzione dell'architettura e degli elementi costitutivi: le chiusure trasparenti.

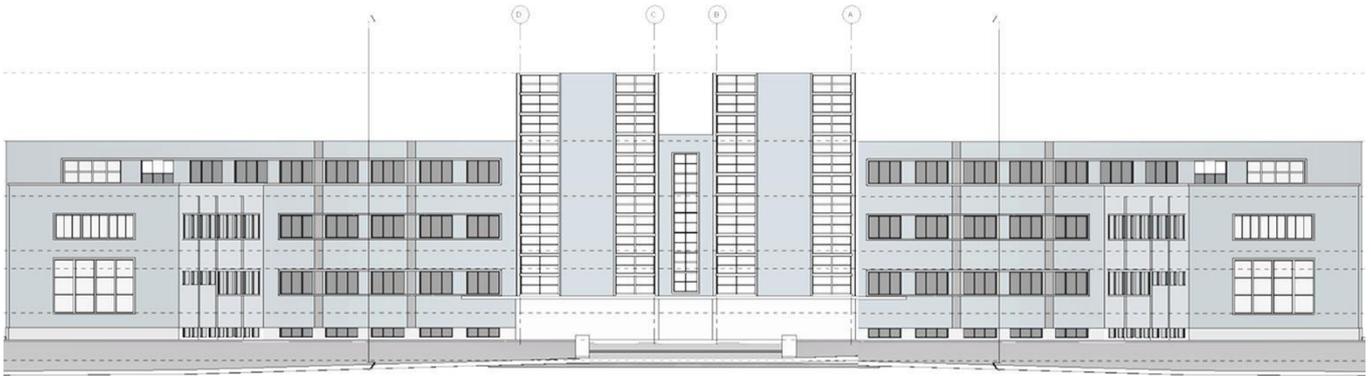


Fig. 4.20. L'Istituto di Botanica. Building Information Modeling, vista del prospetto di ingresso.

modellati a partire dalla definizione del profilo, rintracciato dal dato di rilievo (Fig. 4.21), successivamente estruso.

Un discorso a parte è stato fatto per il rivestimento esterno e per le chiusure trasparenti. Il primo è stato strutturato come modifica della facciata continua, definita attraverso matrici geometriche che regolano il numero di elementi e il passo tra gli assi che costituiscono una griglia. Questo strumento non deve necessariamente trovare corrispondenza con una griglia materialmente realizzata all'interno del progetto, ma può essere considerata anche solo come tracciato ordinatore, e ciò lo ha reso adatto per rappresentare le due tipologie di rivestimento presenti. Le vetrate delle torri sono state modellate come *curtain wall* (Fig. 4.22), mentre le finestre, di cui sono state riconosciute cinque tipologie ripetute diverse volte all'interno del progetto, sono state costruite attraverso la modifica di parametri dimensionali di infissi e vetro associandoli ad una sola tipologia, accelerando notevolmente il processo di modellazione.

A fronte delle operazioni svolte, è possibile tracciare una valutazione sul processo seguito che mette in luce due ordini di considerazioni. La prima riguarda il criterio utilizzato per la scomposizione dell'edificio e le scelte condotte in fase di modellazione: è evidente come queste due fasi, fondamentali sia alla comprensione dell'edificio, sia alla sua ricostruzione secondo un approccio parametrico, ricalchino la logica razionale che ha caratterizzato la progettazione dell'edificio. Sia il processo costruttivo reale, sia quello del modello digitale, hanno previsto in primo luogo la definizione di giaciture, poi la costruzione dei volumi, poi la loro caratterizzazione attraverso il rapporto tra pieni e vuoti, e i rivestimenti, considerando gli elementi finiti fin dalle fasi di progetto. La parametrizzazione delle componenti, quindi, ha consentito di riprodurre l'effettiva configurazione degli elementi reali, secondo i principi della produzione seriale che ne prevedeva la ripetizione e la standardizzazione.

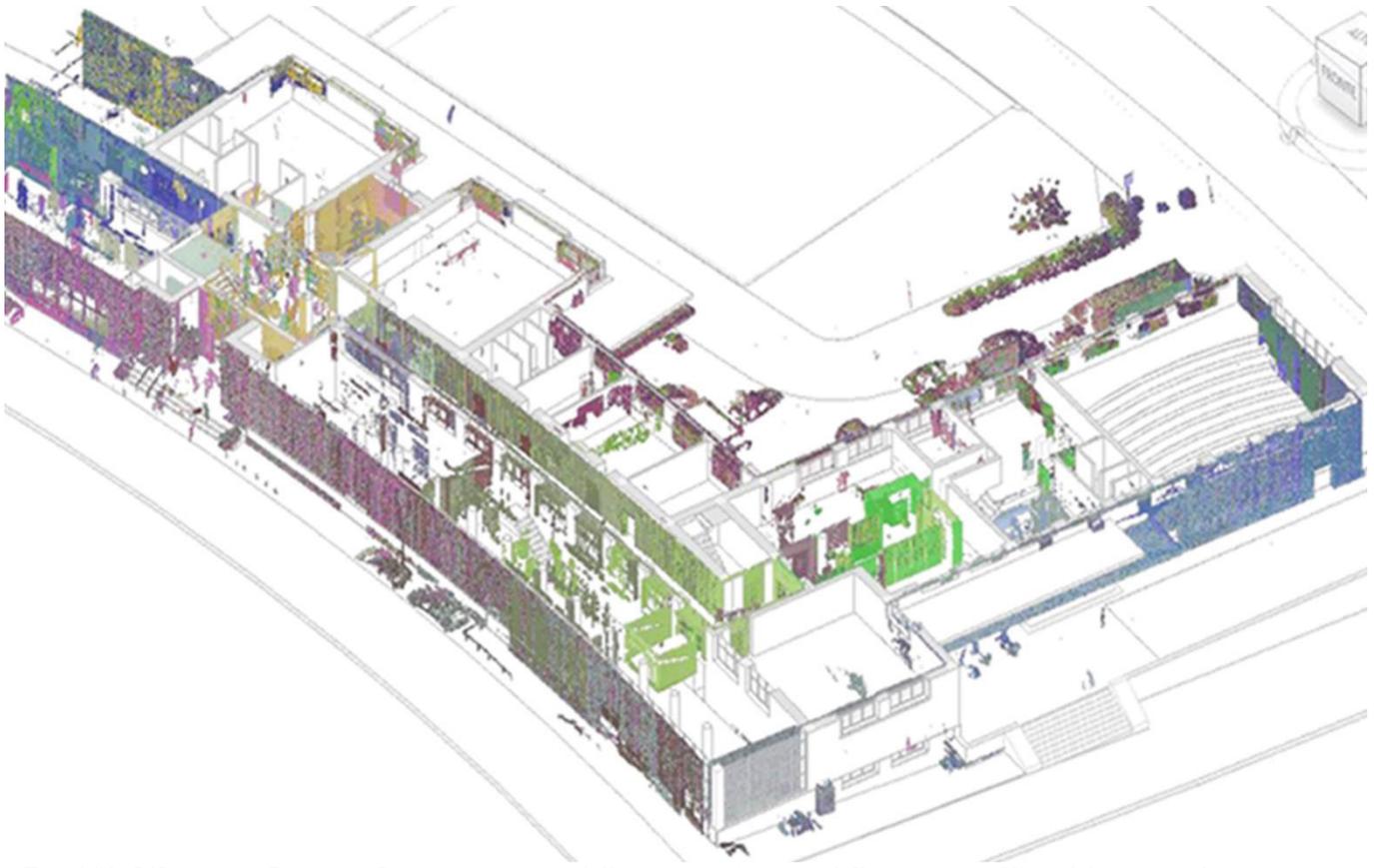


Fig. 4.21. L'Istituto di Botanica. Interazione tra modello parametrico e modello numerico. Vista del piano rialzato.

La seconda riguarda l'effettiva corrispondenza tra l'oggetto reale, il modello numerico e il modello parametrico. Analizzare il modello numerico è stato il primo passo per comprendere come utilizzare un linguaggio parametrico. Sebbene il punto di partenza sia costituito da un rilievo altamente dettagliato, che mette in evidenza le peculiarità del manufatto nel suo aspetto generale e nei particolari architettonici, la standardizzazione degli elementi ha prevalso rispetto alle difformità che possono essere riscontrate tra

diversi elementi della stessa categoria. La ripetizione di componenti architettoniche mostra variazioni dell'ordine del centimetro, per cui è stato possibile apportare delle semplificazioni, considerando tali variazioni legate alle operazioni pratiche di posa in opera, che non sono mai esenti da imprecisioni. Tale semplificazione, tuttavia, non corrisponde ad un'approssimazione metrica e geometrica nella descrizione delle forme, e rende il modello parametrico coincidente con l'*as built*.



*Fig. 4.22. L'Istituto di Botanica. Building Information Modeling, vista delle torri vetrate.*

### 4.3 *Complessi architettonici stratificati: il Tempio del divo Claudio a Roma*

L'analisi di strutture architettoniche stratificate è un'attività complessa che mette in gioco, nella maniera più ampia possibile, tutte le operazioni volte alla conoscenza e la sinergia tra diverse competenze. Conoscere un complesso antico risulta spesso difficile, in primo luogo perché le tracce del passato non sempre sono visibili, e vanno ricercate attraverso un attento lavoro di sintesi tra lo stato di fatto e la documentazione delle trasformazioni che il manufatto ha subito; in secondo luogo perché la componente interpretativa acquista un ruolo fondamentale rispetto alla lettura dell'oggetto. La costruzione di modelli attraverso processi BIM si confronta con entrambe le problematiche, rispetto alle scelte legate agli elementi da parametrizzare – sempre che ve ne siano – all'interno di complessi caratterizzati per lo più da componenti uniche – e al conseguente confronto tra modello ideale e modello *as built*.

Il Tempio del divo Claudio (o meglio, quello che rimane dell'antica struttura) costituisce l'esempio di un oggetto che, come spesso accade per l'architettura storica, non è rimasto immune alle azioni del tempo e alle stratificazioni. La scelta di questo secondo caso di studio, identificato in un ambito a cavallo tra l'architettura e l'archeologia, consente di valutare la consistenza dell'utilizzo del BIM nel campo dell'architettura romana, con l'obiettivo di valutare l'applicazione di un processo analogo ad elementi con le stesse caratteristiche tipologiche. Il complesso analizzato si compone di una varietà di elementi comunemente utilizzati – una struttura con delle arcate, ordini architettonici, sistemi voltati, strutture murarie dai irregolari – la cui riconoscibilità stilistica

e geometrica costituisce la base della procedura seguita.

L'esperienza condotta, inoltre, è stata esemplificativa di quando la costruzione del modello ideale si trova a fare i conti con una documentazione d'archivio tutt'altro che corposa, al contrario di quanto è accaduto per l'Istituto di Botanica. In questo caso, infatti, la storia del complesso non è nota: le fonti antiche ne parlano molto poco e le ultime menzioni del tempio risalgono al IV e al XIII secolo<sup>9</sup>.

#### 4.3.1 *Cenni storici*

Le pendici nord-occidentali del colle del Celio conservano, ancora oggi, alcuni resti del Tempio del divo Claudio, uno degli esempi più significativi della complessità delle vicende che hanno interessato le strutture romane, la cui edificazione e le cui fasi edilizie sono tra le più travagliate della città. La costruzione del tempio fu iniziata nel 54, alla morte dell'imperatore Claudio, per volere della moglie, Agrippina minore. Il sito fu scelto in un luogo distante dal centro monumentale che, in quell'epoca, si estendeva dall'area del Foro Romano verso il Celio, che si presentava in gran parte libero da costruzioni, ad eccezione di qualche abitazione e alcuni importanti luoghi di culto. Quest'area, consacrata alla *Gens Claudia*, e il suo assetto, fu parzialmente distrutta quando Nerone, figlio di Agrippina, mise in atto il progetto di realizzazione della Domus Aurea, che si estendeva fino a questa parte del colle. La domus neroniana includeva un giardino che inglobava al suo interno il Tempio del divo Claudio – che venne trasformato in un ninfeo – ed una cisterna, rendendo necessario il collegamento con l'*Acqueductum*. Dopo il suicidio di Nerone, nel 68, e la presa del potere da

parte della dinastia dei Flavi, Vespasiano riorganizzò l'area delle pendici del Celio, riportandole alla funzione originaria, quella del Tempio del divo Claudio, di cui si ha traccia in un frammento della *Forma Urbis*<sup>10</sup>.

Nella ricostruzione di età flavia, il tempio sorgeva su di un'ampia piattaforma rettangolare, parzialmente artificiale e sostenuta da poderosi muri di contenimento, in parte visibili ancora oggi. Il tempio, esastilo con un pronao di tre colonne, era orientato verso il Palatino, e aveva una imponente scalinata di accesso al podio e una cella senza colonne. Tutto intorno vi era un'area di difficile interpretazione, circondata probabilmente da un colonnato, di cui oggi non rimane più nulla, a causa delle distruzioni che interessarono la città di Roma in età imperiale. Durante il periodo altomedievale e l'età paleocristiana, sui resti delle sostruzioni del tempio si insediarono alcuni importanti luoghi di culto: a sud-ovest il convento di San Giovanni e Paolo – ampliato tra il XII e il XIII secolo e corredato dall'attuale campanile – a nord e ad est due oratori cristiani (Fig. 4.23; Fig. 4.24).

Attualmente, le costruzioni medioevali mantengono l'imponenza originale, ribadita dai massicci contrafforti, e sono un esempio ancora impressionante di riuso medioevale di strutture romane. Dopo secoli di distruzioni e riadattamenti, infatti, si conservano ancora alcuni resti che riguardano i quattro lati delle sostruzioni, mentre nulla resta del tempio al di sopra. Sul lato occidentale, si può ancora vedere una parte dei muri di contenimento del podio, inglobato nel convento della Chiesa dei Santi Giovanni e Paolo, e sotto il campanile (Fig. 4.25).

Il primo tratto delle sostruzioni è costituito da una serie di ambienti a due piani, tra di loro comunicanti. Tali

ambienti presentano le pareti in opera laterizia ed una copertura a volta, mentre la facciata è costituita da pilastri in blocchi di travertino appena sbazzati, secondo quello stile rustico che si riscontra anche in altre opere di età claudia, come la Porta Maggiore, le arcate dell'Acqua Vergine sul Campo Marzio, il Porto di Claudio a Ostia. L'ordine superiore, che corrisponde all'attuale livello di calpestio, presenta un arco a tutto sesto definito da una parete di conci in travertino su cui si poggia una robusta architrave (Fig. 4.26; Fig. 27). Nell'ordine inferiore (Fig. 4.28), invece, le arcate sono inquadrare da lesene doriche, con i soli capitelli rifiniti, la chiave di volta fortemente aggettante, anch'esse sormontate da una pesante architrave. Secondo alcune ipotesi, in origine gli archi non dovevano essere aperti ma chiusi da una muratura in laterizio, con aperture più piccole per porte e finestre. La funzione di questa gigantesca sostruzione non è stata ancora del tutto accertata, ma si ipotizza che il livello inferiore ospitasse magazzini, botteghe e alloggi per gli schiavi, mentre quello superiore costituiva un passaggio per gli edifici connessi al tempio.

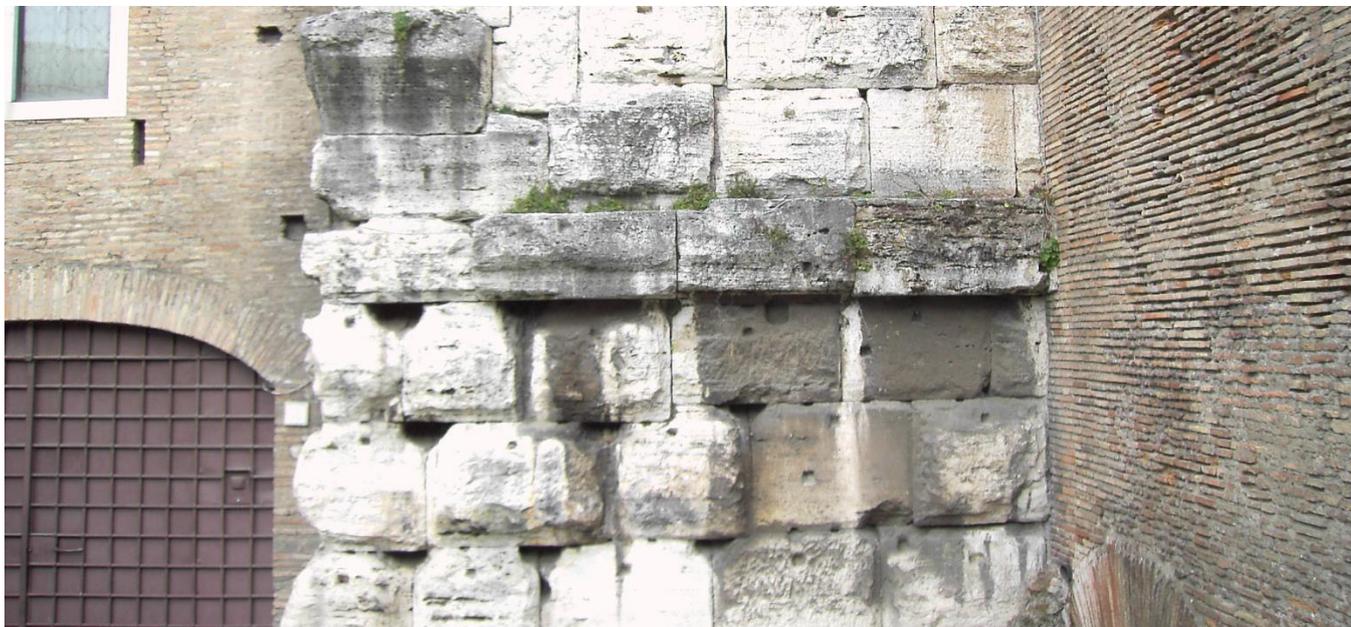
Sul lato orientale si conservano i resti del Ninfeo neroniano, articolato in una serie di nicchie, alternativamente semicircolari e rettangolari, progettate per ospitare fontane (Fig. 4.29). Tale struttura non poggia direttamente sul terrapieno ma presenta una stretta intercapedine destinata al passaggio delle condutture dell'acqua. Il lato sud, invece, non conserva resti del terrazzamento. Le uniche testimonianze sulla sua struttura ci vengono dai già citati frammenti della *Forma Urbis*, in cui alcuni studiosi hanno riconosciuto la presenza di altre costruzioni, addossate e in parte inglobate nelle sostruzioni, nelle quali si è potuto scorgere un



*Fig. 4.23. Il Tempio del divo Claudio. Lato occidentale del basamento.*



*Fig. 4.24. Il Tempio del divo Claudio. Resti del basamento sotto il campanile della Chiesa dei Santi Giovanni e Paolo.*



*Fig. 4.25. Il Tempio del divo Claudio. Resti del basamento sotto il campanile della Chiesa dei Santi Giovanni e Paolo. Dettaglio.*



*Fig. 4.26. Il Tempio del divo Claudio. Resti del basamento sotto il convento.*



*Fig. 4.27. Il Tempio del divo Claudio. Arcata in travertino con lesene, capitelli dorici e architrave.*



*Fig. 4.28. Il Tempio del divo Claudio. Facciata del basamento (a sinistra) e dettaglio di pilastro del primo livello (a destra).*



Fig. 4.29. Il Tempio del divo Claudio. Facciata del basamento (a sinistra) e dettaglio di pilastro del primo livello (a destra)..

ambiente quadrangolare con un lato absidato. Procedendo verso il lato nord delle sostruzioni, si notano delle murature che appaiono del tutto analoghe a quelle del lato ovest, per tecnica e per disposizione. Queste concamerazioni, addossate a un muro di fondo, si distaccano in prossimità del centro, dal margine del terrazzamento, come a formare un avancorpo che avrebbe dovuto avere la funzione di propileo e su cui avrebbe dovuto fondarsi un'ampia scalinata.

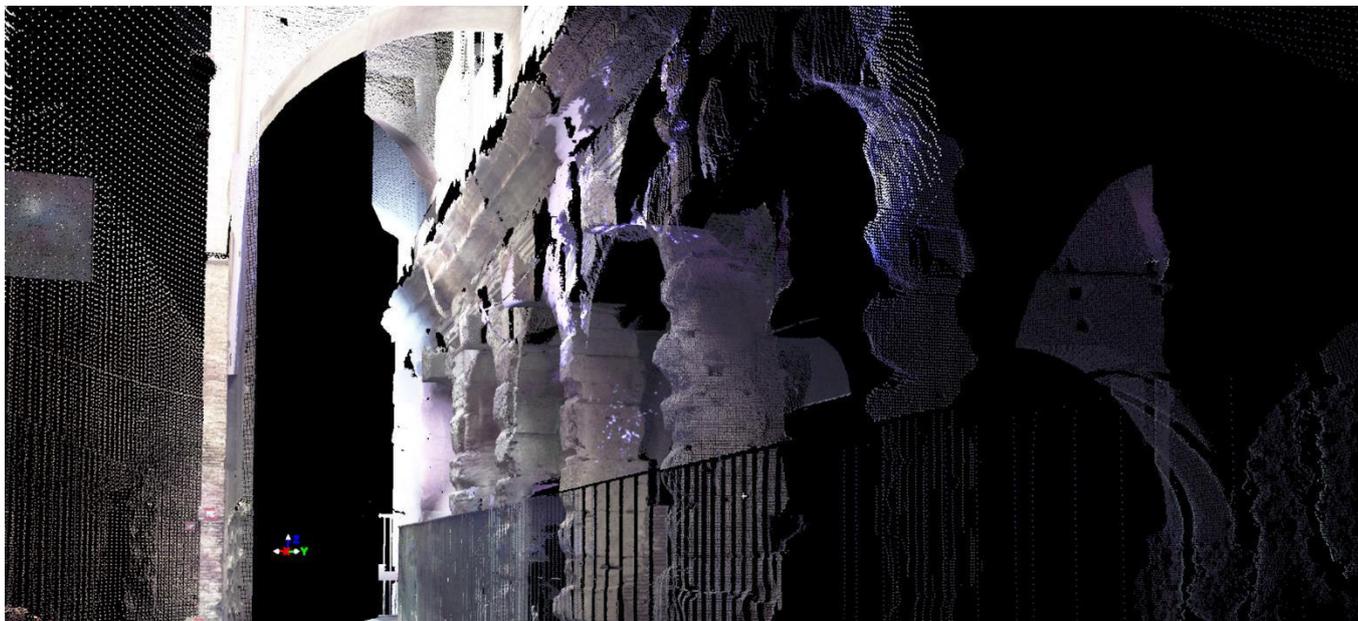
#### 4.3.2 Rilevamento integrato

La campagna di rilievo che ha interessato il complesso analizzato è stata condotta nell'ambito di una ricerca condotta sulle strutture archeologiche di epoca romana<sup>11</sup> con un duplice obiettivo: da un lato, comprenderne l'aspetto metrologico e le regole

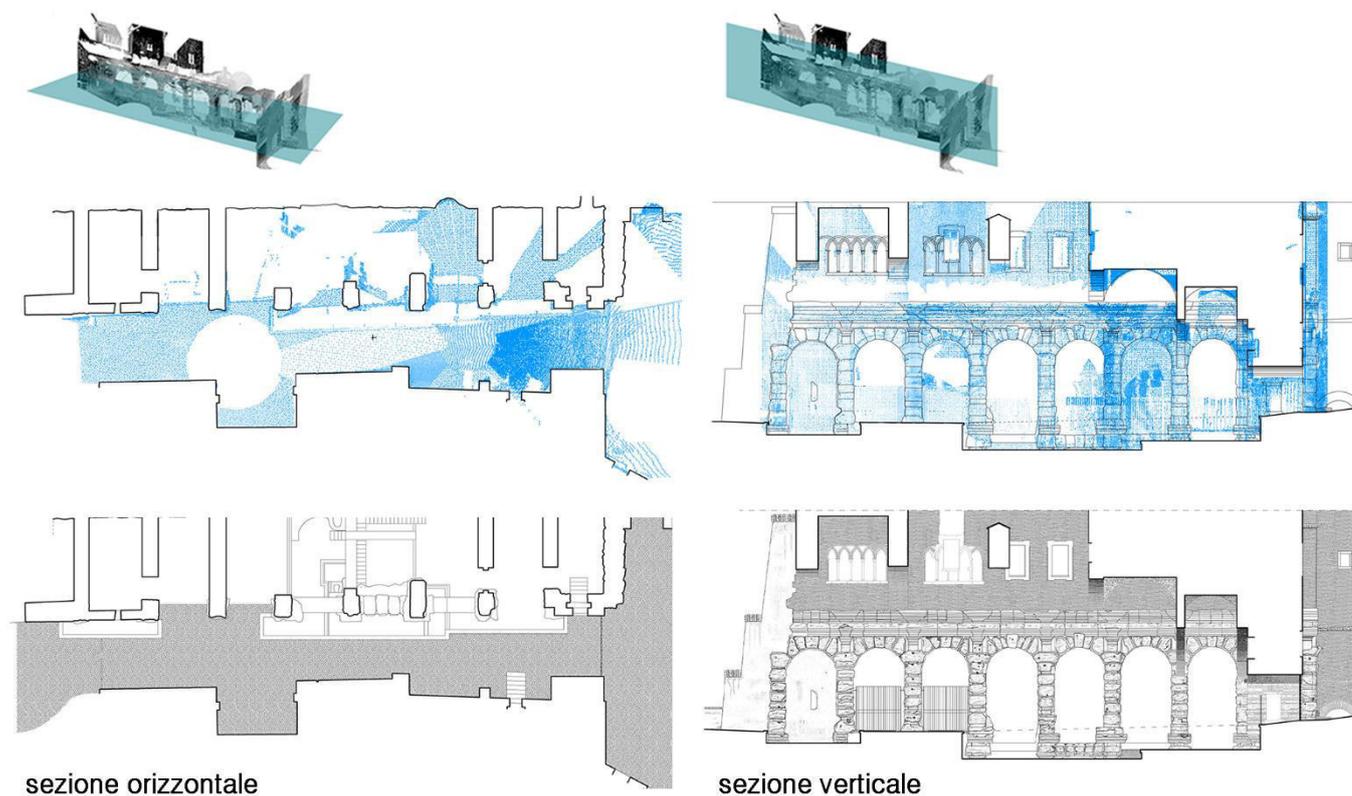
geometrico proporzionali che sottendono alla sua realizzazione, dall'altro, analizzare il dato acquisito per la caratterizzazione del rilievo archeologico. Lo studio a cui si fa riferimento, del 2015, si lega a sua volta ad una sperimentazione già condotta dal Dipartimento di Rilievo Analisi e Disegno dell'Architettura e dell'Ambiente della Sapienza, nell'ambito del progetto Firb. Il progetto veniva sviluppato con l'obiettivo di costruire un sistema informatizzato, dal nome *Imago Urbis*, in cui archiviare dati editi e inediti, cartografici e bibliografici, di alcuni monumenti romani. La struttura del sistema comprendeva due grandi archivi, uno alfanumerico e uno costituito da documentazione grafica, che confluivano nel Sistema Informativo Archeologico. L'articolazione di un archivio digitale così concepito, espressione di una conoscenza il più



*Fig. 4.30. Il complesso della chiesa dei Santi Giovanni e Paolo e i resti del Tempio del divo Claudio. Modello numerico, visualizzazione RGB colore.*



*Fig. 4.31. Il Tempio del divo Claudio. Lato occidentale del basamento. Modello numerico, visualizzazione RGB colore.*



sezione orizzontale

sezione verticale

Fig. 4.32. Il Tempio del divo Claudio. Gli elaborati di rilievo.

possibile diffusa e consentita dall'integrazione di dati eterogenei, implementabili e basati sul rilievo, mostra immediatamente le affinità con i processi BIM. Proprio questi punti di contatto hanno spinto a voler continuare la sperimentazione sul caso in esame e a prenderne in considerazione i risultati ottenuti, alla luce di uno sviluppo tecnologico più spinto ma comunque basato su premesse teorico culturali di grande importanza. Gli esiti della ricerca sono stati ripresi in questa sede integrando il dato di rilievo già disponibile<sup>12</sup> (Fig. 4.30; Fig. 4.31; Fig. 4.32) con una campagna fotografica utile sia a registrare lo stato

attuale, quindi ad effettuare un controllo sui cambiamenti che hanno investito la struttura dal 2015 ad oggi, sia a costruire modelli numerici mediante Structure from Motion.

### 4.3.3 La costruzione del modello BIM

Le complesse implicazioni legate alla struttura dei processi BIM nello studio di architetture antiche costituiscono un campo di indagine non ancora completamente esplorato. La sperimentazione condotta sul Tempio del divo Claudio ha permesso di

considerare, fin dalle fasi preliminari, le premesse teoriche e metodologiche che si antepongono alle strategie di modellazione, più prettamente operative. L'avanzamento della conoscenza di un manufatto caratterizzato da una conformazione architettonica articolata, infatti, si trova a fare i conti con le operazioni di costruzione di modelli, intese sia dal punto di vista geometrico di costruzione della forma, sia dal punto di vista semantico. L'approccio seguito prende in considerazione i diversi aspetti che si formalizzano nelle fasi che concorrono alla costruzione del modello HBIM: quello della conoscenza, quello della scomposizione dell'architettura e quello della ricostruzione del modello parametrico. Sebbene i momenti possano sembrare distinti, e forse in un certo modo consequenziali, in realtà sono fortemente connessi ed integrati. Il problema della conoscenza è immediatamente legato a quello della costruzione del modello, in primo luogo perché la prima scelta da fare riguarda cosa modellare. Confrontarsi con un'architettura complessa e stratificata, con evidenti connessioni con il mondo dell'archeologia, implica conoscerne la storia e le fasi che hanno determinato la sua configurazione attuale. Trattandosi di un manufatto risalente all'epoca romana, non risulta difficile comprendere che la sua conformazione originaria fosse differente rispetto a come si presenta oggi; tuttavia occorre definire che le operazioni di modellazione riguardano il suo stato contingente. Questa scelta trova giustificazione nel fatto che il processo seguito vuole analizzare una strategia utile a pianificare futuri interventi su manufatti storici, progettati rispetto alle condizioni attuali della struttura analizzata. Tuttavia, la conoscenza del susseguirsi delle vicende storiche e costruttive, non è soltanto utile

a porsi nei confronti dell'edificio – e delle future operazioni da condurre su di esso – nel modo il più possibile critico e consapevole, ma consente di ampliare il modello-database, esito del processo BIM. L'aspetto conoscitivo, quindi, prende in considerazione sia i dati d'archivio, sia il rilievo dell'esistente, che verrà utilizzato per capire come scomporre un sistema complesso in elementi semplici. Il criterio seguito non parte dall'analisi delle giaciture dell'oggetto costruito perché, essendo attualmente integrato all'interno di altre strutture, non sono chiaramente riconoscibili. Inoltre, ciò che rimane del tempio di Claudio è costituito da elementi parziali, quindi non risulterebbe una strategia vincente, avendo come obiettivo quello di ottimizzare il processo di modellazione. L'analisi proporzionale è quella che maggiormente si confà ad una struttura del genere, perché è in grado di rivelare l'esistenza di regole compositive che possono essere trasposte in un ambiente di modellazione parametrica.

Un attento esame del dato di rilievo ha restituito informazioni sulla forma, sulla geometria e sulle proporzioni, la cui analisi si è operativamente tradotta nella ricerca di un modulo costruttivo di base. Lo studio geometrico delle forme è stato integrato da uno studio metrologico, condotto per rintracciare l'esistenza di una matrice geometrica di progetto e di un modulo di riferimento. La lettura del complesso indica che l'organismo presenta un impianto rettangolare, lungo 34,40 m e largo 11,56m, ed un prospetto composto da sei arcate, la cui altezza in chiave varia dai 5,96 m ai 6,91 m. Tali indicazioni sono state interpretate alla luce di un attento studio proporzionale e metrologico, che ha mostrato risultati significativi: l'ambiente principale è caratterizzato dal rapporto 1:3 tra larghezza e lunghezza; inoltre, l'unità

risulta contenere 19 volte il modulo principale, individuato a livello compositivo nel diametro delle paraste. Emerge infatti come esso sia l'unità di base della progettazione del complesso architettonico. L'altezza dell'ordine inferiore risulta pari a 12 moduli, la luce tra le campate pari a 6, l'altezza del capitello dell'ordine inferiore è alto un modulo, quella delle arcate corrisponde a due circonferenze dal diametro di 5 moduli e mezzo, intersecanti a metà dell'altezza complessiva della campata. Anche la progettazione dell'ambiente ipogeo conferma l'utilizzo dello stesso modulo: sebbene l'altezza sia ridotta rispetto all'ambiente superiore, risulta essere pari a circa 8 moduli, mentre le arcate risultano essere alte 1 volta e mezzo la circonferenza di 5.5 moduli che definiva l'altezza delle arcate nel prospetto principale (Fig. 4.33).

La successiva fase di studio si è concentrata sulla ricerca di un'unità di misura come elemento regolatore dell'intero complesso, rintracciata studiando il modulo individuato nello schema proporzionale. La sua dimensione, infatti, risulta perfettamente pari al doppio di quella del piede romano, 29,6 cm; questo consente di collocare il Tempio del divo Claudio in perfetta continuità con la tradizione architettonica romana. Gli attributi di modularità e proporzionalità non vengono riscontrati solo nell'impianto costruttivo generale, ma anche nelle componenti architettoniche di dettaglio. Osservando i pilastri delle arcate del prospetto principale è possibile notare come essi siano costituiti sempre da uno stesso numero di blocchi in travertino, la cui geometria e le cui dimensioni corrispondono a multipli del modulo di progetto. Nello specifico, ogni pilastro è costituito da cinque blocchi in travertino: quello su cui si imposta l'arco ha la forma di un poligono irregolare, mentre gli altri sono

rettangolari. Questi blocchi mantengono la stessa larghezza, pari a  $3 + \frac{2}{3}$  piedi, mentre hanno altezze differenti, sempre multipli dell'unità (Fig. 4.34). Il ritmo riscontrato nelle proporzioni delle campate e nei blocchi che costituiscono i pilastri, tuttavia, contrasta con le strutture murarie della parte retrostante, caratterizzate da sezioni e profili in cui non è possibile rintracciare una regolarità geometrica. Questa condizione risulta essere particolarmente frequente nello studio di architetture antiche, in cui non si può prescindere dal considerare lo stato di conservazione della struttura.

L'analisi di questo fattore e la scomposizione geometrica condotta si legano alle semplificazioni che caratterizzano il modello successivamente costruito: entrambe subiscono un'approssimazione che non tiene conto né delle variazioni dei centimetri legate alla produzione artigianale degli elementi lapidei, né dei cambiamenti locali causati dall'inesorabile trascorrere del tempo (Fig. 4.35; Fig. 4.36).

La modellazione secondo processi BIM, tenendo conto di queste considerazioni, ha seguito un approccio eterogeneo rispetto agli elementi di diverso genere che compongono la struttura del complesso. La fase successiva a quella della scomposizione dell'elemento esistente ha previsto la definizione di regole per la ricostruzione del modello BIM e degli elementi di cui si costituisce, per ognuno dei quali sono stati seguiti diversi passaggi (Fig. 4.37; Fig. 4.38; Fig. 4.39). Strutturare il flusso di lavoro partendo da premesse teoriche legate sia alla struttura in esame, sia ai principi della modellazione, ha consentito di identificare diverse componenti e di comprendere immediatamente che il processo seguito per i pilastri, per le coperture voltate degli ambienti, per le modanature, e per le superfici murarie, non sarebbe

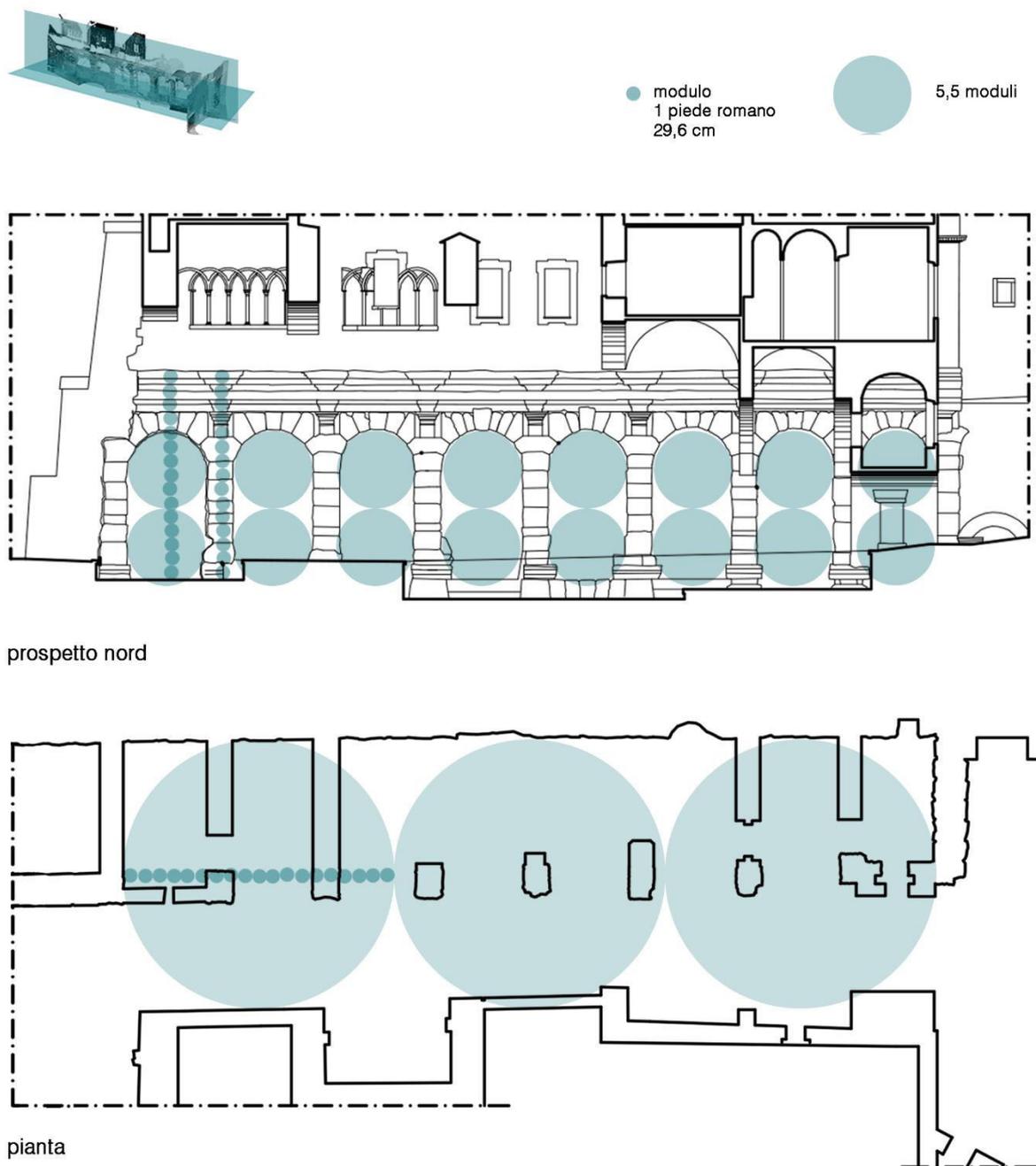


Fig. 4.33. Il Tempio del divo Claudio. Analisi metrologica e proporzionale.

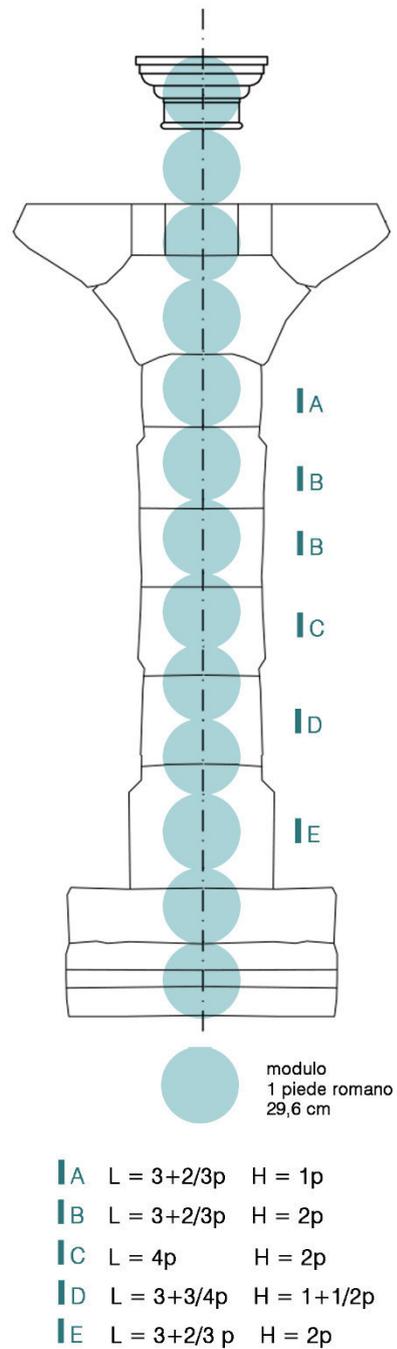
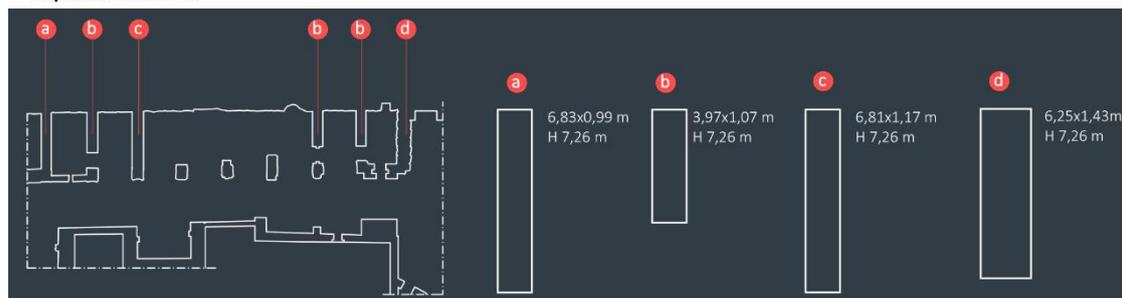


Fig. 4.34. Il Tempio del divo Claudio. Analisi metrologica e proporzionale. Dettaglio.

1

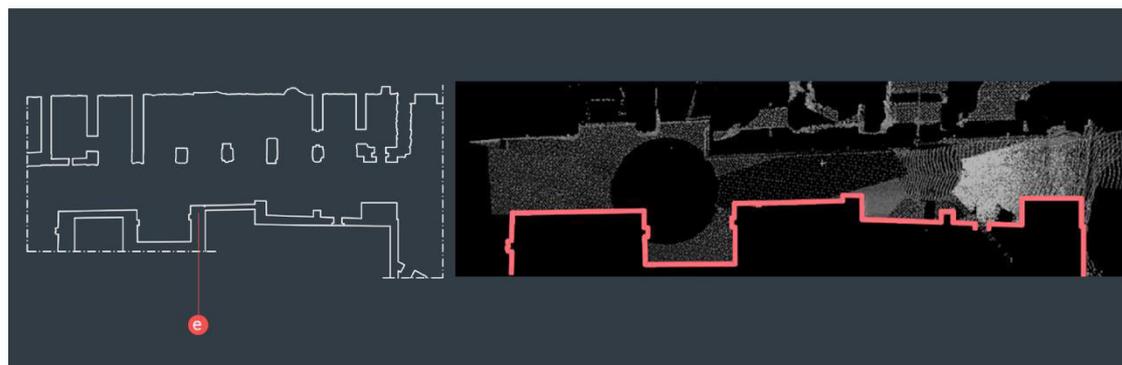
Superfici murarie



pianta

2

muratura fuori piombo

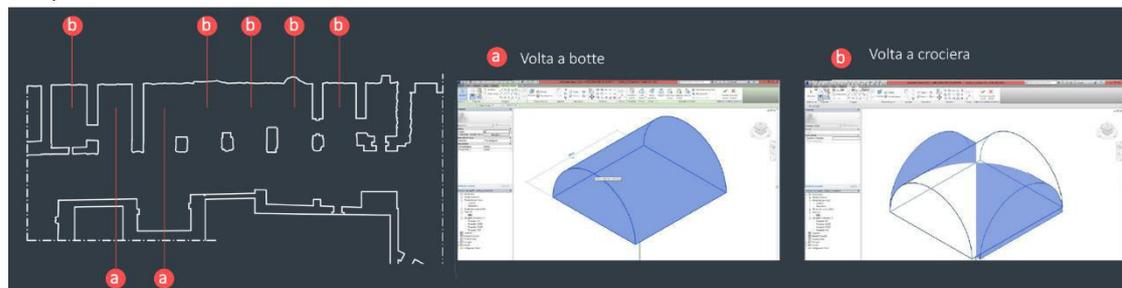


pianta

modello numerico | vista planimetrica

3

superfici voltate

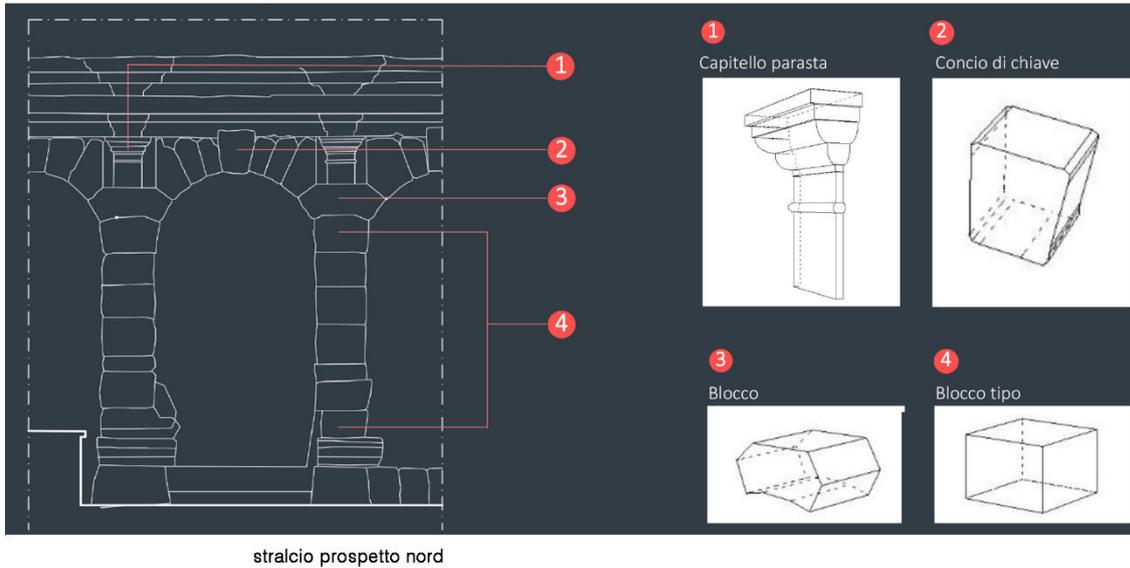


pianta

Fig. 4.35. Il Tempio del divo Claudio. Scomposizione dell'architettura.

# 4

## elementi architettonici ripetuti



# 5

## blocchi in travertino

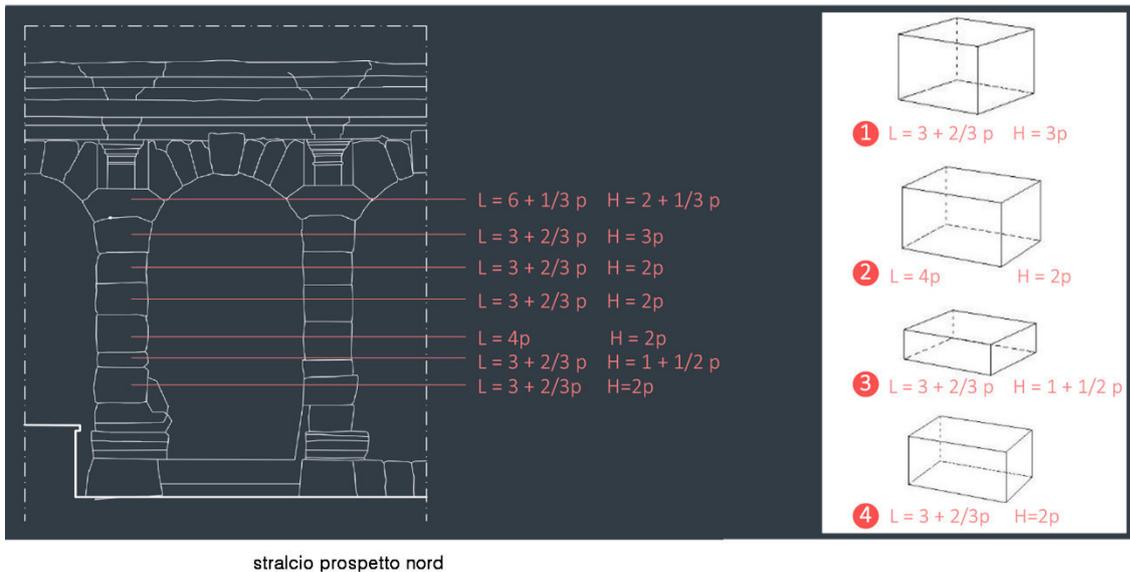


Fig. 4.36. Il Tempio del divo Claudio. Scomposizione dell'architettura.

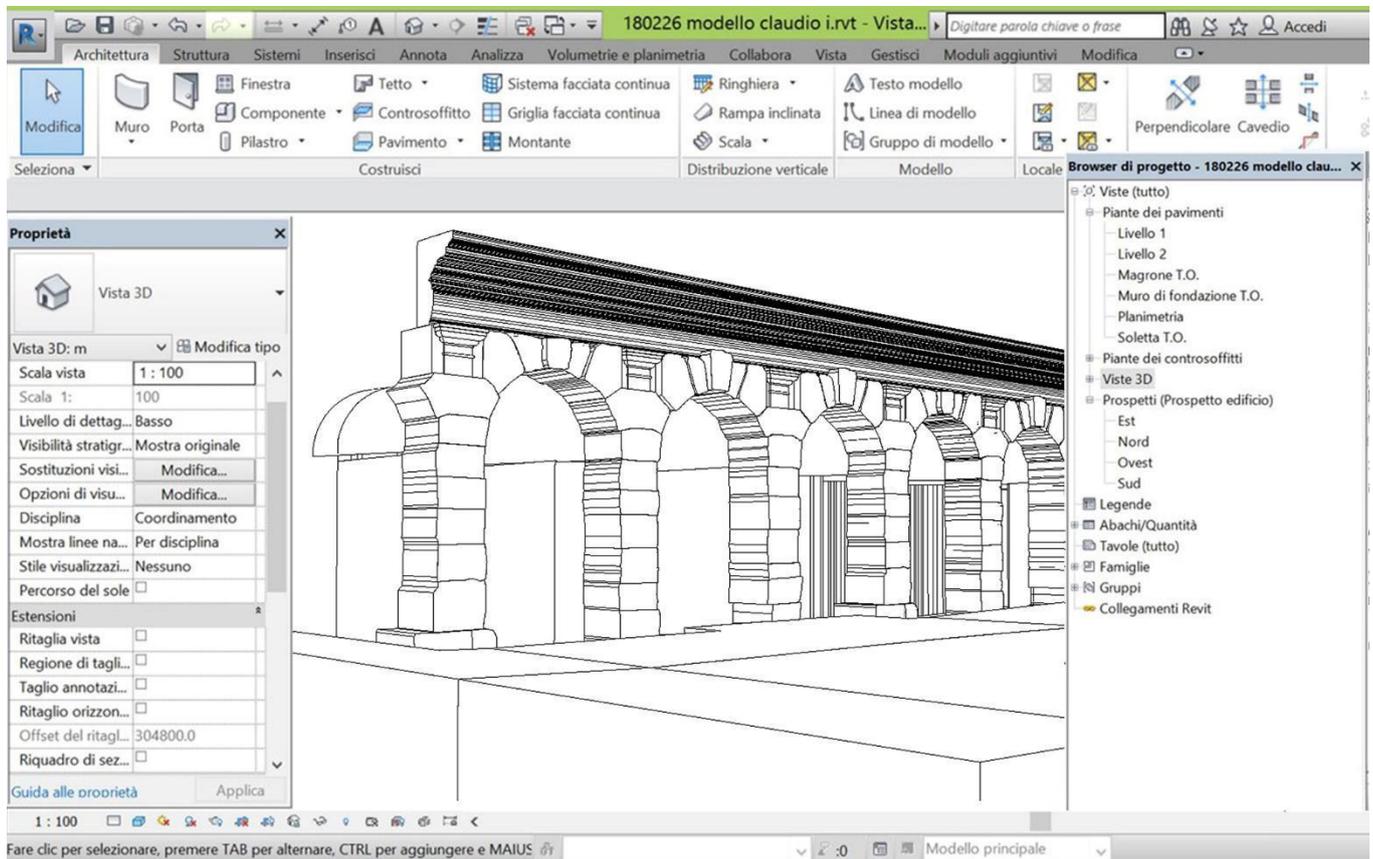


Fig. 4.37. Il Tempio del divo Claudio. Building Information Modeling.

stato lo stesso. Le operazioni di maggior complessità sono quelle legate alla costruzione dei pilastri composti dai blocchi in travertino, il cui studio delle variazioni dimensionali e dei rapporti proporzionali ha consentito di ottimizzare il processo di modellazione (Fig. 4.40). Per ogni blocco è stata impostata una famiglia caratterizzata dalla possibilità di generarne modifiche a partire dalla variazione di un solo parametro: poiché i cinque tipi di blocchi hanno tutti la stessa larghezza, l'unico valore da modificare è quello dell'altezza, sempre basta su multipli del piede romano, che varia da un massimo di 3 piedi ad un

minimo di  $1+1/3$ ; altre volte invece è pari a 2 piedi o a  $2+1/2$ . Seguendo questa procedura<sup>13</sup>, la modellazione dei blocchi è stata adattata a vincoli imposti, ricalcando la pratica costruttiva seguita al tempo della costruzione della struttura, che ha previsto l'utilizzo di un modulo generatore. Gli altri elementi di cui si compongono i pilastri – i blocchi esagonali, i capitelli delle paraste, il concio di chiave – sono stati trattati singolarmente e poi ripetuti all'interno della modello complessivo senza applicare ulteriori variazioni di parametri e senza considerare le minime variazioni a livello locale cui si è precedentemente accennato. In

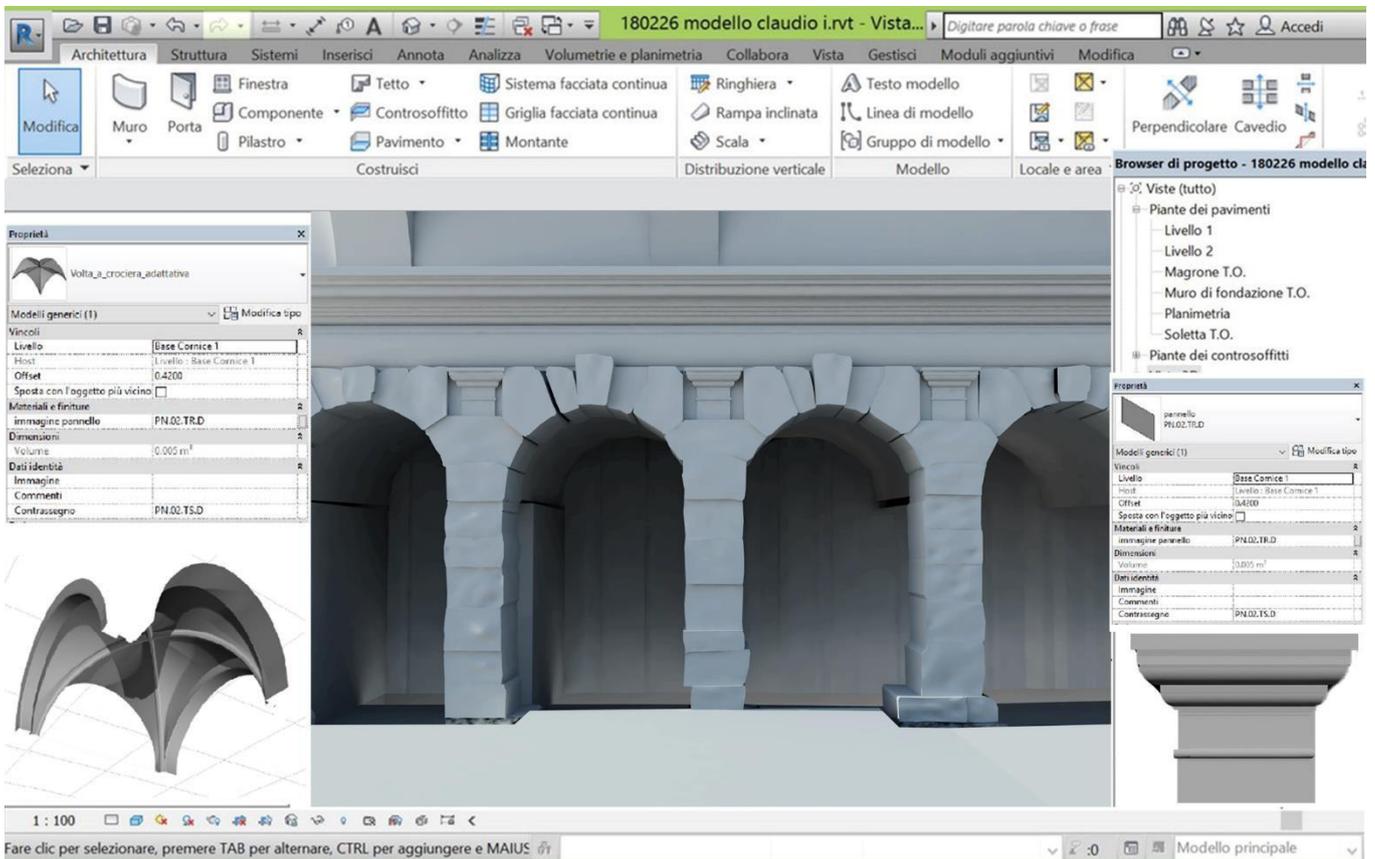


Fig. 4.38. Il Tempio del divo Claudio. Building Information Modeling.

particolare, la modellazione del capitello ha consentito di sfruttare la possibilità di costruire le cosiddette famiglie nidificate, ovvero famiglie che ne contengono al loro interno delle altre, legate alle prime tramite una struttura ad albero. La famiglia “capitello” comprende quella dell’abaco, dell’echino, gli anuli, il collarino, i listelli, che, a loro volta, contengono le famiglie “profilo”, elementi bidimensionali semplici utilizzati per produrre oggetti tridimensionali più complessi.

Un processo basato sull’estrazione dei profili dal modello numerico è stato seguito sia per la costruzione

dell’architrave che sormonta le arcate, sia per quella delle superfici murarie. Nel primo caso, però, è stato possibile utilizzare regole geometriche per definire il profilo delle modanature; nel secondo, invece, l’irregolarità delle sezioni murarie ha reso necessario identificare diversi profili, ricavati ogni 20 cm, in modo da ottenere un oggetto tridimensionale il più possibile corrispondente a quello reale. Le superfici murarie sono state definite prima attraverso la geometria, poi associandogli la stratigrafia specifica (sempre la stessa per le sei porzioni identificate), così come anche le volte che chiudono il piano costituito

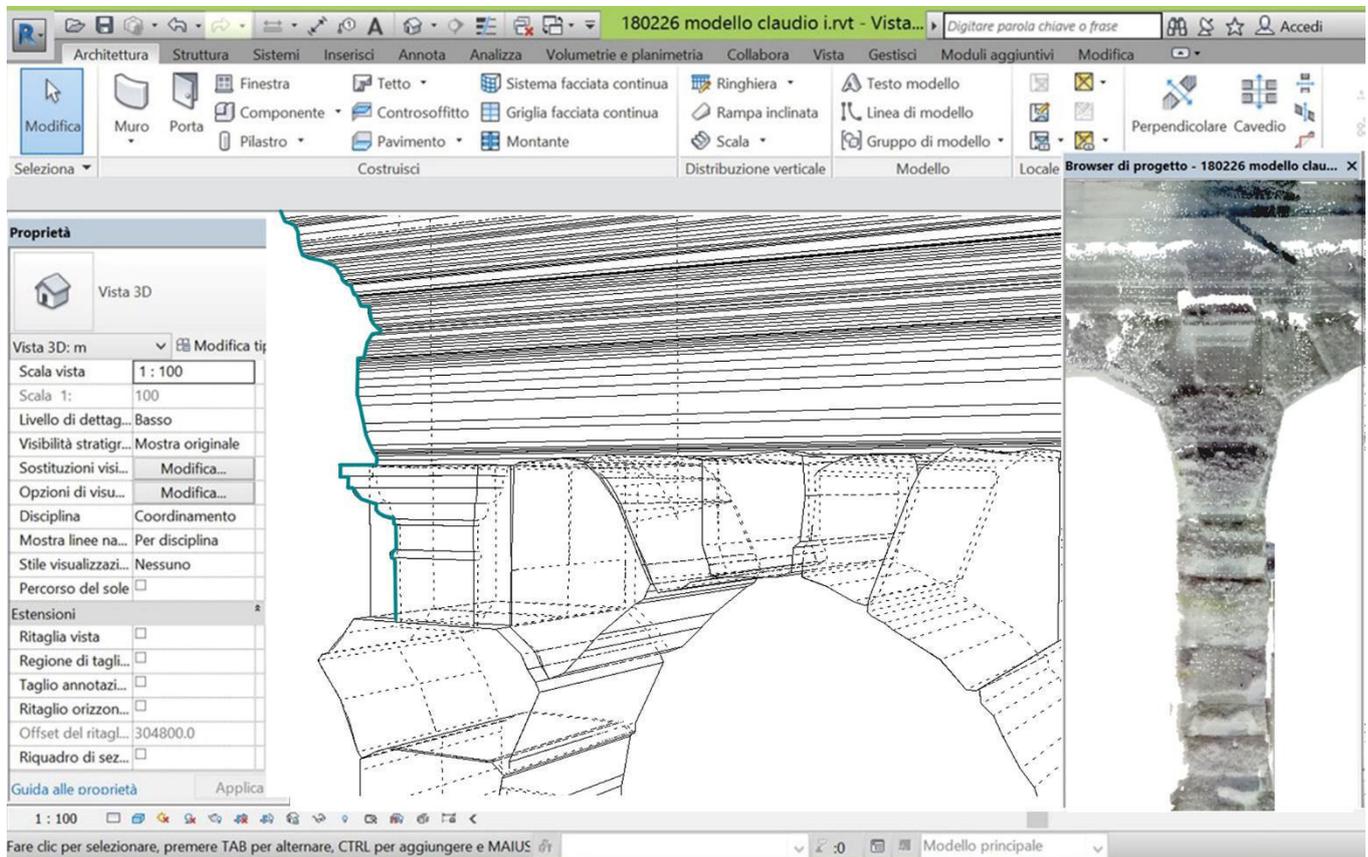


Fig. 4.39. Il Tempio del divo Claudio. Building Information Modeling.

dalle arcate. Per le due tipologie di volte, a botte e a crociera, è stato usato lo stesso elemento, variando le dimensioni dell'imposta e il valore dell'altezza. Le pareti fuori piombo che delimitano il corridoio dalla parte opposta, sono state trattate invece non come delle masse ma creando una nuova tipologia di muro, utilizzando l'estrusione di un volume da cui sottrarre l'inclinazione, ricavata dal modello numerico.

La modellazione della struttura analizzata, che prende in esame lo stato di fatto del Tempio del divo Claudio, si occupa di definire anche le problematiche legate all'analisi del degrado. Questo elemento risulta essere

fondamentale per eventuali futuri progetti di conservazione, che derivano necessariamente da constatazioni generali sullo stato attuale del manufatto. Le patologie di degrado, che nei tradizionali elaborati bidimensionali vengono formalizzate tramite campiture legate ad una simbologia grafica definita dalla normativa, si rappresentano nell'ambiente scelto per la modellazione parametrica tramite le componenti geometriche adattive<sup>14</sup>. In questo modo, anche le lesioni diventano degli oggetti digitali a cui è possibile

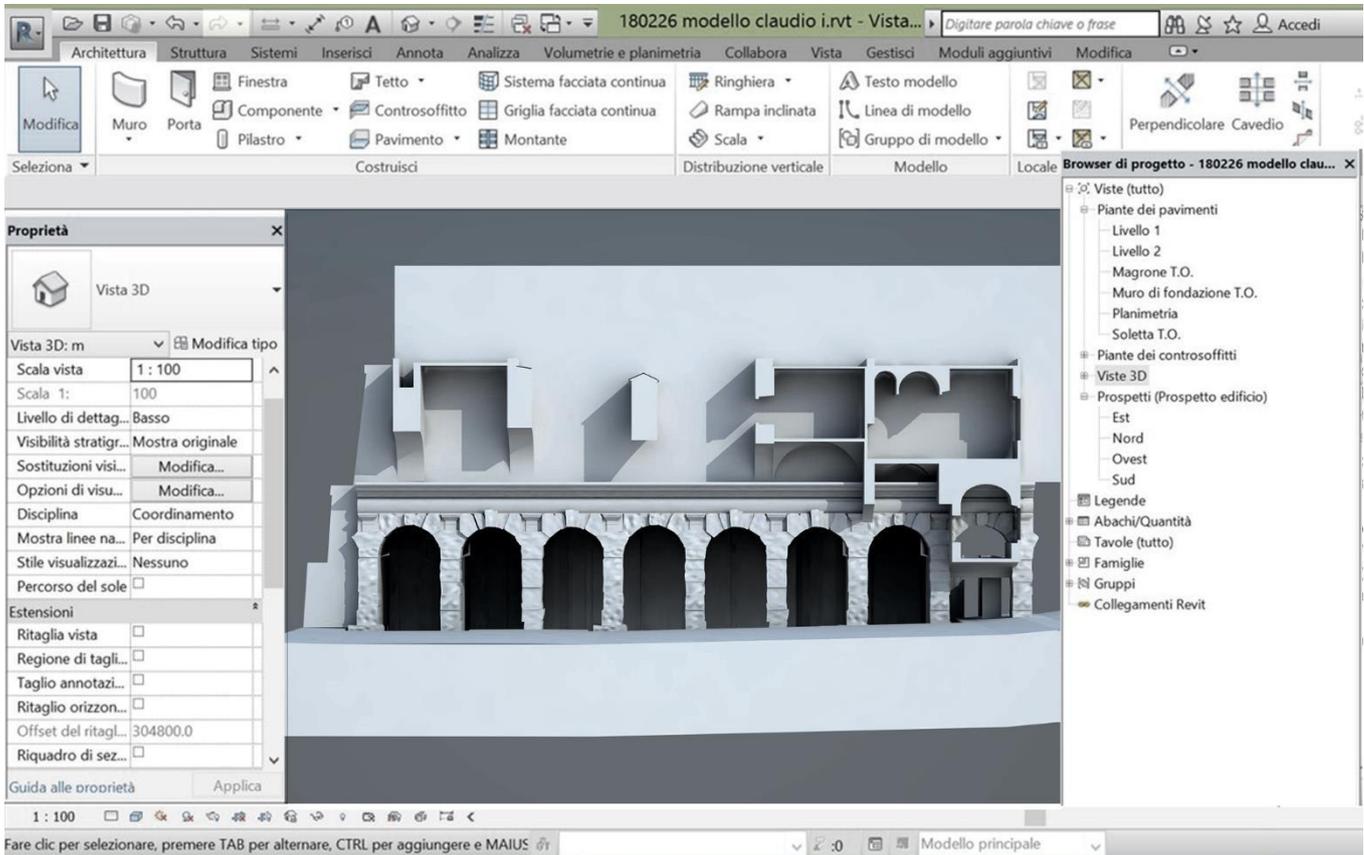


Fig. 4.40. *Il Tempio del divo Claudio. Building Information Modeling.*

collegare immagini o descrizioni specifiche, come per qualsiasi altro elemento modellato<sup>15</sup>.

Il processo seguito mostra come l'eterogeneità degli elementi costituenti il tempo di Claudio abbia richiesto delle soluzioni specifiche che rispondano, caso per caso, alle esigenze di comprensione dell'aspetto geometrico e di comunicazione tra gli studiosi, che necessitano di un quadro conoscitivo il più possibile ampio per poter predisporre successivi interventi. Alla base del processo di modellazione non c'è quindi un approccio standard che è possibile seguire per le

diverse categorie di oggetti presenti. Tuttavia, ogni classe di elementi presenta delle peculiarità che è possibile riscontrare in oggetti della stessa tipologia; pertanto è possibile trasporre la procedura ad elementi architettonici se in essi si riscontrano caratteristiche analoghe. A titolo esemplificativo, la modalità utilizzata per la gestione dei blocchi in travertino può essere utilizzata per qualsiasi elemento soltanto se tra i pezzi di cui si compone si riscontrano rapporti proporzionali. In questo modo è possibile sfruttare al meglio l'approccio parametrico e velocizzare il processo di modellazione. Diversamente, sarà sempre

possibile modellare un pilastro attraverso la definizione delle dimensioni e poi collegare all'entità costruita immagini, descrizioni testuali, ecc.

L'altra questione importante riguarda il legame tra il modello numerico e il modello parametrico, che si esprime, da un punto di vista concreto e operativo, mediante la definizione del valore dell'incertezza che c'è tra i due modelli, da un punto di vista più propriamente teorico e concettuale, nelle scelte che vengono fatte rispetto al livello di dettaglio del modello costruito. Le semplificazioni geometriche, operate al fine di rendere la modellazione parametrica il più possibile efficace, danno luogo ad un modello che, di fatto, non corrisponde all'*as built*. Il modello costruito, quindi, è proprio quel modello ideale che consente di comprendere le intenzioni progettuali alla base del manufatto analizzato, senza perdere la consapevolezza delle peculiarità di ciascun componente. Tale caratteristica viene ulteriormente espressa dallo scarto con il modello numerico, che si configura come elemento rappresentativo della corrispondenza tra stato di fatto e stato di progetto, e che identifica gli effetti del tempo e gli eventuali meccanismi di danneggiamento.

#### ***4.4 Scomposizione e ricostruzione dell'architettura: il confronto tra i processi seguiti***

La sperimentazione condotta ha come obiettivo quello di definire un metodo applicato a casi particolari nel campo dell'HBIM e di definire la sua estensione rispetto ad ambiti di carattere generale. La struttura seguita per entrambi i casi analizzati si basa sulla traduzione delle relazioni tra le diverse componenti degli edifici attraverso una logica parametrica, che ne

consente la modellazione secondo processi BIM. L'approccio ai complessi studiati segue due strade che in parte possono essere considerate complementari: una va dal generale al particolare, si occupa di comprendere le caratteristiche formali, l'impianto strutturale, le soluzioni costruttive; l'altra studia gli elementi secondo criteri ontologici, la definizione di categorie e le regole di aggregazione, associando ai modelli ideali di oggetti parametrici le caratteristiche peculiari degli elementi legate allo stato di conservazione, al trascorrere del tempo e alle modifiche che l'architettura ha subito. Queste soluzioni si formalizzano, in primo luogo, nella scelta del criterio da utilizzare per l'analisi e la costruzione del modello delle architetture oggetto di studio; in secondo luogo nell'utilizzo di modalità che sfruttino il più possibile le potenzialità della modellazione parametrica e associativa. Il passaggio dalla proposta e dalla valutazione di un workflow alla definizione di una metodologia di ricerca vera e propria avviene nel momento in cui prende forma una strategia condivisa, basata su operazioni standardizzate nell'ambito dell'elaborazione dei dati, che riducano al minimo la componente soggettiva dell'impostazione del modello e della costruzione delle sue componenti.

Lo studio dell'Istituto di Botanica e del Tempio del divo Claudio ha previsto il confronto tra i processi seguiti nei due casi, la definizione di punti di contatto, i problemi incontrati e le modalità di risoluzione. La comparazione parte da basi di dati omogenee dal punto di vista formale – perché provenienti dalle medesime operazioni di rilevamento, e dalla costruzione di modelli basata su un approccio culturale comune e sviluppata all'interno della stessa piattaforma – ma eterogenee nel contenuto – perché legate a due architetture completamente differenti. Alla luce dei

risultati conseguiti è possibile proporre considerazioni critiche rispetto alla procedura in rapporto al costruito storico. La struttura di un impianto metodologico comune, valido per entrambi i casi studio, si fonda sostanzialmente su tre elementi: la distinzione tra operazioni teorico concettuali e operazioni che possono essere automatizzate; la possibilità di trasferire l'approccio seguito ad altri edifici, che comprende la definizione delle caratteristiche delle architetture esaminate; la qualità del prodotto finale.

Da un punto di vista teorico, riconoscere il primo anello della metodologia nella comprensione dell'architettura analizzata su base concettuale e non geometrica, consente di seguire un processo di formalizzazione della conoscenza basato sulla sintesi di analisi ed interpretazioni, in maniera del tutto coerente con le valutazioni richieste dallo studio di edifici storici e le proposte per una loro gestione efficace. La parte più prettamente operativa, invece, comprende sia tutte le pratiche legate al momento dell'acquisizione dei dati, sia la definizione di una procedura utile a gestire le informazioni riguardanti l'edificio, e i metadati. Questa fase considera l'edificio nella sua integrità e nelle parti di cui si compone, che sono tra loro concettualmente e strutturalmente collegate, ma anche considerabili come singoli elementi, ciascuno con le proprie specificità, desumibili da un attento esame dei dati di cui si dispone (Fig. 4.41).

L'applicazione della metodologia mostra esiti diversi fin dall'analisi del dato di rilievo e dalla sua relazione con la l'architettura analizzata. Tali attività consentono di comprendere la potenzialità di un approccio che prevede la scomposizione di una struttura in categorie e oggetti e che sfrutta la completa

integrazione tra le discipline della rappresentazione, del rilievo e della geometria.

Nel caso dell'Istituto di Botanica, il rilievo viene usato a scopo più prettamente documentale che come una base di dati per comprendere la complessità dell'edificio. La struttura deriva dalla composizione di forme elementari ed elementi semplici, la cui acquisizione di dati ha fornito informazioni sulla geometria, le dimensioni, i materiali, ponendosi come elemento per la verifica della grande mole di dati derivanti dalla corposa documentazione d'archivio. Per il tempio di Claudio, invece, le operazioni di rilevamento e rilievo hanno costituito il mezzo attraverso cui leggere le irregolarità di un complesso che si presenta oggi integrato all'interno di una realtà legata ad un periodo storico successivo. In questo caso, quindi, le operazioni di acquisizione hanno rappresentato la base per le analisi metrologiche e proporzionali necessarie alla costruzione del modello, ponendosi come la fonte principale di conoscenza, essendo la storia del complesso solo parzialmente documentata. Tuttavia, in entrambi i casi, l'approccio culturale con cui sono stati trattati i dati derivanti dalle operazioni di acquisizione ha fortemente influenzato la successiva fase di modellazione. Le informazioni utilizzate per capire come scomporre l'architettura, per poi ricostruirla attraverso i processi BIM, sono state fondamentali per poter dare delle regole alla costruzione del modello. In generale, tale attività risulta estremamente importante, soprattutto perché, rispetto allo stato dell'arte, non è stata ancora fatta una comparazione tra i criteri seguiti per la scomposizione e la ricostruzione dell'architettura volta ad identificare il migliore in termini di efficacia. Dalle applicazioni sui casi esaminati emerge come il criterio per scomporre l'edificio di Capponi, che si pone in

continuità con le caratteristiche razionaliste della struttura, non è trasferibile ad un edificio con una forte componente storico-archeologica. Scomporre il Tempio del divo Claudio partendo dall'identificazione delle giaciture non avrebbe senso: ciò che è pervenuto oggi è soltanto una parte dell'antico complesso, del cui assetto non ci sono tracce visibili. Analogamente si

può dire per la componente strutturale, chiaramente significativa nell'impianto volumetrico e nelle componenti architettoniche del primo edificio, ma meno significativa nel secondo, in cui la riconoscibilità delle forme avviene contestualmente all'analisi proporzionale e quella dello stato di conservazione.

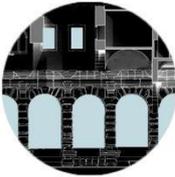
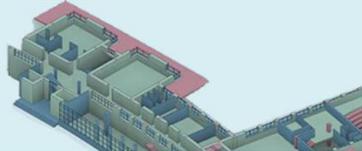
	Istituto di Botanica   1939	Tempio del divo Claudio   54 a.C.
		
Documentazione archivio		
Rilevamento e rilievo		
Scomposizione e ricostruzione	giaciture struttura geometria elementi compositivi	giaciture struttura geometria elementi compositivi
modello numerico VS modello parametrico	0 < deviazione standard < 5cm (80% punti) deviazione standard < 3cm (60% punti)	3cm < deviazione standard < 7cm (100% punti)
LOR (schema grafico)		
LOR (valore numerico)*	7.7	5
corrispondenza BIM/as built	✓	—

Fig. 4.41. L'Istituto di Botanica e il Tempio del divo Claudio. Il confronto tra i processi seguiti.

L'approccio ad una struttura stratificata, eterogenea nei processi costruttivi, nei materiali e nell'aggregazione tra gli elementi di cui si compone, pone una serie di problematiche che possono essere estese a tutti gli elementi del patrimonio costruito in cui la componente storica è forte e significativa rispetto all'impianto costruttivo dell'opera e alla sua evoluzione. Se, infatti, può risultare più semplice il processo di decostruzione e ricomposizione di un'architettura razionalista, a causa della ripetizione degli elementi, della standardizzazione delle componenti, della riconoscibilità geometrica, o della possibilità di reperire informazioni legate alla sua costruzione, nel caso di sistemi più complessi la questione si fa più complicata. La modalità di decostruzione dell'architettura ha fornito, nel primo caso, una risposta coerente con le logiche costruttive dell'opera; nel secondo caso, invece, sono emerse alcune questioni legate all'inevitabile problema di non poter conoscere realmente e completamente la fabbrica, la composizione dei suoi elementi costitutivi e i loro vincoli. Questo rende il modello costruito non rappresentativo dello stato attuale ma, di fatto, di un modello ideale. Il presente concetto, però, alimenta il sorgere di un'altra questione: la valutazione dello scarto tra lo stato di progetto e lo stato di fatto, rispetto a cui occorre fare delle precisazioni rispetto ai modelli costruiti a fronte della scelta degli elementi da parametrizzare e delle modalità più prettamente operative. L'applicazione del processo BIM all'edificio di Botanica ha consentito di sviluppare un modello che è sostanzialmente rappresentativo dello stato di fatto, in cui le variazioni legate ad esigenze costruttive hanno subito un'approssimazione che permette sfruttare in pieno le potenzialità di un approccio di tipo parametrico. Per il Tempio del divo

Claudio, invece, le semplificazioni apportate hanno riguardato sia la definizione dei volumi, sia le componenti di dettaglio, cercando un punto di contatto tra una logica basata su regole geometriche e di aggregazione tra gli elementi del processo e i caratteri contingenti del manufatto.

Assunto quindi che i modelli costruiti non rappresentano in maniera completa gli edifici analizzati, è necessario valutarne l'attendibilità sia dal punto di vista metrico-dimensionale, sia dal punto di vista della qualità del risultato ottenuto in termini di affidabilità. La prima verifica riguarda, quindi, per entrambi gli edifici analizzati, il confronto tra il modello geometrico e il modello parametrico, determinando l'accuratezza geometrica e fornendo la prova di eventuali incongruenze tra la struttura semantica del modello e l'oggetto reale. Applicativi dedicati<sup>16</sup> sono stati utilizzati per calcolare la deviazione tra i due modelli evidenziando gli scostamenti tra la forma ideale, descritta nel modello BIM a livello geometrico, e quella reale/oggettiva, descritta dal modello numerico.

Il confronto tra i modelli dell'Istituto di Botanica, quello numerico o quello parametrico, presenta deviazioni comprese in un range che va da 0 a 5 cm per l'80% dei punti analizzati, raggiungendo un livello di precisione con deviazioni inferiori ai 3 cm per un valore del 60%. Tali risultati sono possono definirsi soddisfacenti, considerando che sono inclusi nel computo della media anche elementi senza piani di riferimento certi, come le coperture, o elementi di disturbo, come la vegetazione. Il valore è stato ricavato sia per il modello complessivamente inteso, sia rispetto alle componenti modellati come famiglie, (elementi strutturali, finestre, ecc.) per una valutazione

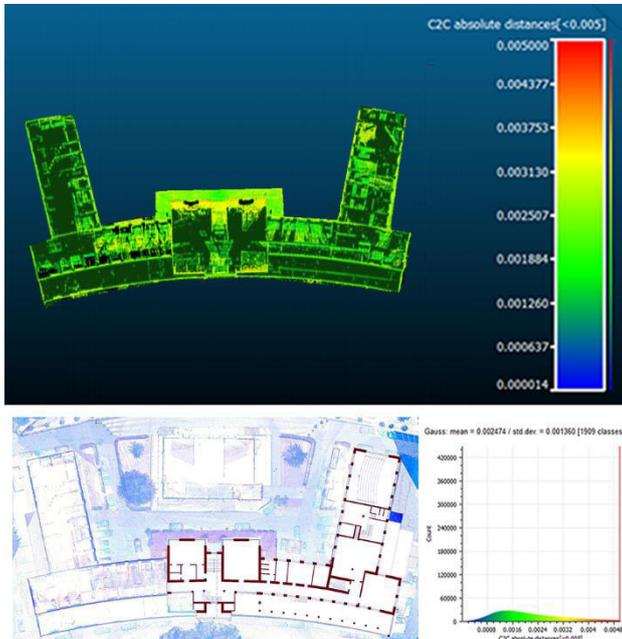


Fig. 4.42. L'Istituto di Botanica. Confronto tra il modello numerico e il modello parametrico.

mirata, e che riportano una distanza media di 0,05 cm e 0,01 cm (Fig. 4.42).

Lo stesso tipo di verifica è stata condotta per il secondo caso di studio, prevedendo di ottenere scostamenti maggiori, in relazione alla maggiore entità delle semplificazioni che hanno caratterizzato la costruzione del modello ideale del tempio del divo Claudio. I risultati riportano una distanza media tra il modello numerico e il modello parametrico compresa tra i 3 e i 7 cm (Fig. 4.43). Anche in questo caso sono stati analizzati gli elementi di dettaglio, costituiti attraverso la parametrizzazione di componenti all'interno di famiglie appositamente realizzate; i blocchi in travertino, il bugnato delle pareti murarie, le modanature dell'architrave e dei capitelli delle paraste, collegati semanticamente grazie alla nomenclatura delle parti, e strutturalmente attraverso le famiglie

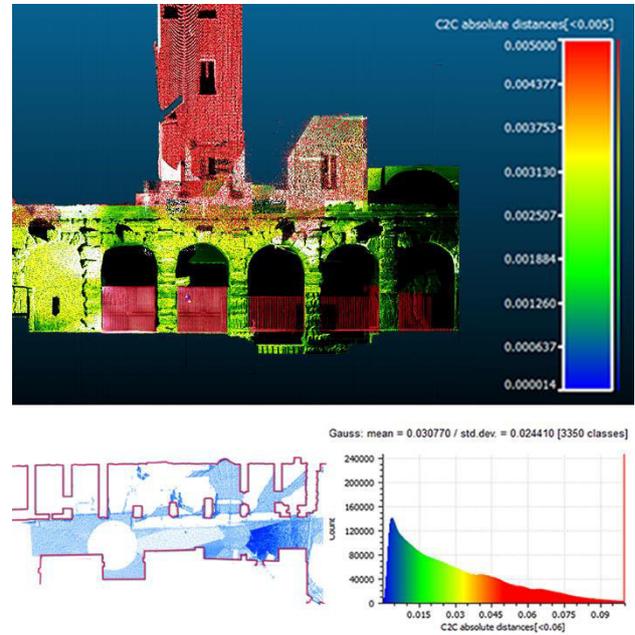


Fig. 4.43 Il Tempio del divo Claudio. Confronto tra il modello numerico e il modello parametrico.

nidificate. Questo processo si inserisce nella valutazione sulla trasparenza dei modelli informativi e sulla loro conseguente validità scientifica, a cui concorrono cui sia l'accuratezza del rilievo, sia la completezza delle indagini preliminari d'archivio, sia la struttura semantica dei modelli parametrici. La scientificità di ciascun modello si lega, inoltre, al livello di affidabilità che caratterizza l'intero processo della sua costruzione, considerando l'interpretazione critica dei dati disponibili e il livello di informazioni che porta con sé.

La seconda verifica ha riguardato la valutazione del LOR (Level of Reliability) per entrambi i modelli realizzati, che sebbene soggettivo, è comunque la sintesi di una catena di ragionamenti basate su prove e deduzioni supportate da un certo grado di oggettività, essendo legate ad informazioni effettivamente

Istituto di Botanica | 1939

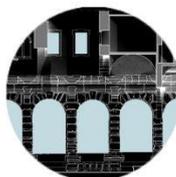


<b>Caratteristiche geometriche intrinseche</b>	Forma libera o scultorea (non riconducibile a matrici geometriche)	Traduzione geometrica simbolica	0	<b>2</b>
	Forma semplice o composta (riconducibile a matrici geometriche)	Traduzione geometrica parametrica (per elementi tipo)	1	
		Traduzione geometrica puntuale (per elementi specifici)	2	
<b>Dati di rilievo</b>	Dati non disponibili (rilievo non effettuato o non attendibile)	Traduzione geometrica simbolica	0	<b>2</b>
	Dati disponibili (rilievo effettuato e ben documentato)	Traduzione geometrica generica (da rilievo non integrato)	1	
		Traduzione geometrica specifica (da rilievo integrato)	2	
<b>Indagini specialistiche</b>	Dati non disponibili (indagini non effettuate o non attendibili)	Definizione informativa ipotetica	0	<b>0</b>
	Dati disponibili (indagini effettuate e ben documentate)	Definizione informativa generica (da indagini a campione)	1	
		Definizione informativa specifica (da indagini dirette o diffuse)	2	
<b>Materiale / Fonti d'archivio</b>	Dati non disponibili (ricerche non effettuate o fonti non attendibili)	Definizione informativa ipotetica (a livello storico o semantico)	0	<b>2</b>
	Dati disponibili (ricerche effettuate e ben documentate)	Definizione informativa generica (a livello storico o semantico)	1	
		Definizione informativa specifica (a livello storico o semantico)	2	
<b>Caratteristiche fisiche</b>	Indicazione generica delle caratteristiche dei materiali	Definizione informativa ipotetica (o per analogia)	0	<b>2</b>
	Indicazione specifica delle caratteristiche dei materiali	Definizione informativa generica (o superficiale)	1	
		Definizione informativa specifica (o stratigrafica)	2	
<b>Definizione tecnologica / articolazione tettonica</b>	Conformazione incerta o non definibile	Definizione / articolazione simbolica o assente	0	<b>1</b>
	Conformazione verificata o definibile	Definizione / articolazione generica (per analogia o per conformazione tipo)	1	
		Definizione / articolazione specifica (verificata o per elementi specifici)	2	
<b>Stato di conservazione</b>	Dati non presenti nel <i>database</i> (analisi non effettuate)	Stato conservativo non definito	0	<b>1</b>
	Dati presenti nel <i>database</i> (analisi effettuate)	Stato conservativo descritto per mezzo collegamenti esterni	1	
		Stato conservativo descritto per mezzo di oggetti digitali	2	
<b>Verifiche di rispondenza e/o congruenza</b>	Verifiche non effettuate o in corso	Definizione geometrica non verificata	0	<b>2</b>
	Verifiche effettuate (comparazione modello/ <i>points cloud</i> , <i>model checking</i> )	Definizione geometrica verificata (deviazioni / incongruenze poco rilevanti)	1	
		Definizione geometrica validata (deviazioni / incongruenze non rilevanti)	2	
<b>Indicazioni operative o di approfondimento</b>	Indicazioni non fornite nel <i>database</i>	Indicazioni assenti (bassa probabilità di approfondimento LOR)	0	<b>2</b>
	Indicazioni fornite nel <i>database</i>	Indicazioni generiche (discreta probabilità di approfondimento LOR)	1	
		Indicazioni specifiche (buona probabilità di approfondimento LOR)	2	

7.7

Fig. 4.44. L'Istituto di Botanica. LOR

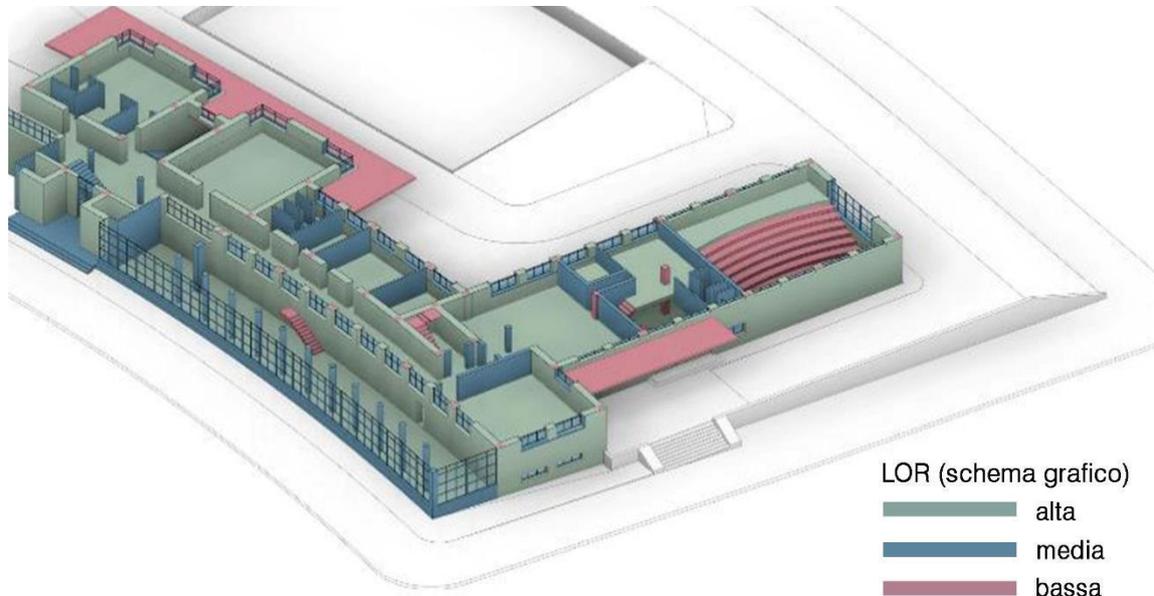
Tempio del divo Claudio | 54 a.C.



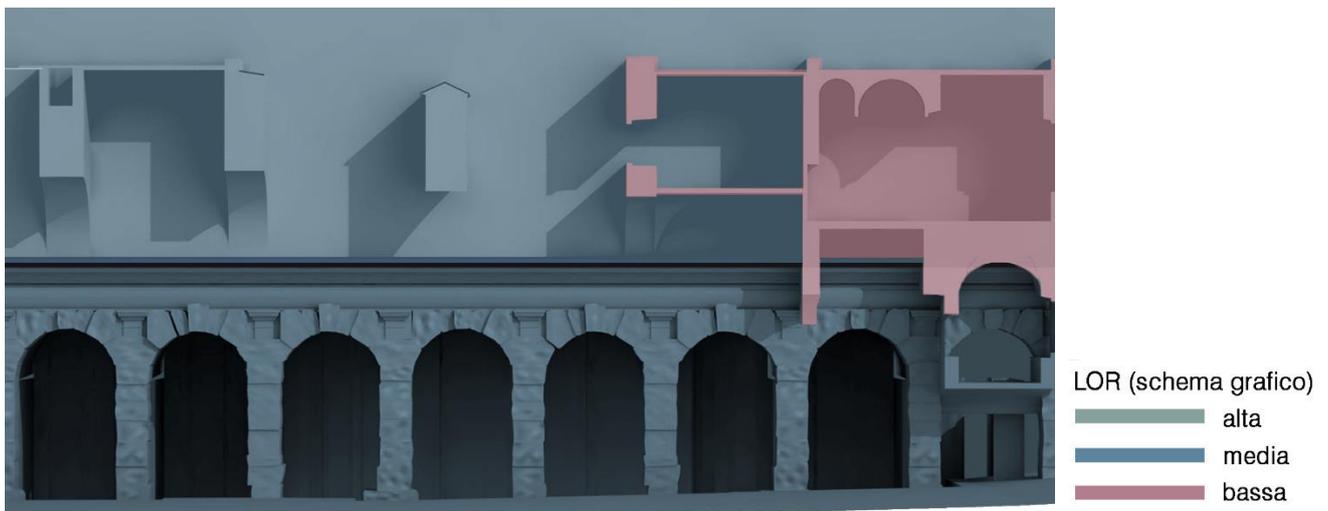
<b>Caratteristiche geometriche intrinseche</b>	Forma libera o scultorea (non riconducibile a matrici geometriche)	Traduzione geometrica simbolica	0	<b>1</b>
	Forma semplice o composta (riconducibile a matrici geometriche)	Traduzione geometrica parametrica (per elementi tipo)	1	
		Traduzione geometrica puntuale (per elementi specifici)	2	
<b>Dati di rilievo</b>	Dati non disponibili (rilievo non effettuato o non attendibile)	Traduzione geometrica simbolica	0	<b>2</b>
	Dati disponibili (rilievo effettuato e ben documentato)	Traduzione geometrica generica (da rilievo non integrato)	1	
		Traduzione geometrica specifica (da rilievo integrato)	2	
<b>Indagini specialistiche</b>	Dati non disponibili (indagini non effettuate o non attendibili)	Definizione informativa ipotetica	0	<b>0</b>
	Dati disponibili (indagini effettuate e ben documentate)	Definizione informativa generica (da indagini a campione)	1	
		Definizione informativa specifica (da indagini dirette o diffuse)	2	
<b>Materiale / Fonti d'archivio</b>	Dati non disponibili (ricerche non effettuate o fonti non attendibili)	Definizione informativa ipotetica (a livello storico o semantico)	0	<b>1</b>
	Dati disponibili (ricerche effettuate e ben documentate)	Definizione informativa generica (a livello storico o semantico)	1	
		Definizione informativa specifica (a livello storico o semantico)	2	
<b>Caratteristiche fisiche</b>	Indicazione generica delle caratteristiche dei materiali	Definizione informativa ipotetica (o per analogia)	0	<b>1</b>
	Indicazione specifica delle caratteristiche dei materiali	Definizione informativa generica (o superficiale)	1	
		Definizione informativa specifica (o stratigrafica)	2	
<b>Definizione tecnologica / articolazione tettonica</b>	Conformazione incerta o non definibile	Definizione / articolazione simbolica o assente	0	<b>1</b>
	Conformazione verificata o definibile	Definizione / articolazione generica (per analogia o per conformazione tipo)	1	
		Definizione / articolazione specifica (verificata o per elementi specifici)	2	
<b>Stato di conservazione</b>	Dati non presenti nel <i>database</i> (analisi non effettuate)	Stato conservativo non definito	0	<b>1</b>
	Dati presenti nel <i>database</i> (analisi effettuate)	Stato conservativo descritto per mezzo collegamenti esterni	1	
		Stato conservativo descritto per mezzo di oggetti digitali	2	
<b>Verifiche di rispondenza e/o congruenza</b>	Verifiche non effettuate o in corso	Definizione geometrica non verificata	0	<b>1</b>
	Verifiche effettuate (comparazione modello/ <i>points cloud</i> , <i>model checking</i> )	Definizione geometrica verificata (deviazioni / incongruenze poco rilevanti)	1	
		Definizione geometrica validata (deviazioni / incongruenze non rilevanti)	2	
<b>Indicazioni operative o di approfondimento</b>	Indicazioni non fornite nel <i>database</i>	Indicazioni assenti (bassa probabilità di approfondimento LOR)	0	<b>1</b>
	Indicazioni fornite nel <i>database</i>	Indicazioni generiche (discreta probabilità di approfondimento LOR)	1	
		Indicazioni specifiche (buona probabilità di approfondimento LOR)	2	

**5**

Fig. 4.45. Il Tempio del divo Claudio. LOR.



*Fig. 4.46. L'Istituto di Botanica. Graficizzazione del LOR attraverso l'uso di diversi colori che indicano l'attendibilità del modello (in verde alta attendibilità: è possibile ricostruire completamente geometria, stratigrafia interna e fasi evolutive delle componenti modellate; in verde attendibilità media: è possibile ricostruire geometria e materiali; in rosa bassa attendibilità: è possibile ricostruire soltanto le componenti soltanto negli attributi geometrici, desunti dai dati di rilievo)*



*Fig. 4.47 Il Tempio del divo Claudio. Graficizzazione del LOR attraverso l'uso di diversi colori che indicano l'attendibilità del modello (in verde alta attendibilità: è possibile ricostruire completamente geometria, stratigrafia interna e fasi evolutive delle componenti modellate; in verde attendibilità media: è possibile ricostruire geometria e materiali; in rosa bassa attendibilità: è possibile ricostruire soltanto le componenti soltanto negli attributi geometrici, desunti dai dati di rilievo).*

tangibili e suscettibili di verifica. L'analisi del LOR per i manufatti analizzati ha restituito risultati diversi, che mostrano come i processi di conoscenza siano gradualmente, connessi alla continua possibilità di nuove indagini e all'interpretazione di informazioni eterogenee (Fig. 4.44; Fig. 4.45; Fig. 4.46; Fig. 4.47). Tutte le verifiche condotte e il confronto degli esiti ottenuti esprimono la volontà di favorire la trasparenza

e la validità scientifica dell'applicazione di un processo di conoscenza, comunicazione e gestione del patrimonio architettonico, la cui risposta, sia nel caso dell'Istituto di Botanica, sia in quello del Tempio del divo Claudio, si rivela comunque complessivamente omogenea e coerente con le prestazioni attese di un modello HBIM.

---

<sup>1</sup> A livello operativo, queste scelte hanno riguardato sia la fase di rilevamento, sia quella di costruzione di modelli. Le operazioni di acquisizione massiva sono state condotte attraverso lo scanner laser 3D long range C10 della Leica Geosystem, mentre le elaborazioni dei modelli numerici e le operazioni successive (registrazione e pulizia delle nuvole di punti) sono state svolte tramite il software *Autodesk Recap*, che consente di importare il dato all'interno di piattaforme di modellazione parametrica attraverso il formato.rcp. La costruzione dei modelli è stata condotta all'interno del software *Autodesk Revit*, uno fra gli applicativi di *BIM authoring* più diffusi e completi nell'ambito dell'architettura a livello internazionale.

<sup>2</sup> Le esperienze riguardanti altri edifici della città universitaria sono al centro di una ricerca condotta dal Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro della Sapienza Università di Roma, Direttore prof. Carlo Bianchini, responsabile scientifico Prof. Graziano Mario Valenti. Gli esiti della ricerca sviluppata sull'edificio di Geologia e Mineralogia (oggi Scienze della terra), sono esposti nella tesi di dottorato dell'arch. Saverio Nicastro, dal titolo *L'integrazione dei sistemi di Building Information Modeling nei processi di conoscenza del Patrimonio Culturale* (Dottorato in Storia, disegno e restauro

dell'architettura – Sapienza Università di Roma, ciclo XXX – 2014/2017, Tutor Prof. Carlo Bianchini). Gli studi sull'Istituto di Fisica e per quello di Lettere sono invece oggetto di tesi di laurea ancora in corso, curate dal Prof. Graziano Mario Valenti.

<sup>3</sup> G. Argan, 1940. Manifestazioni d'arte. In *Le arti*, 1940, II, pp. 195-196.

<sup>4</sup> Gli infissi sono stati realizzati in parte in legno e in parte in ferro, prediligendo il legno per tutti gli istituti di carattere scientifico, essendo il materiale meno attaccabile da parte dei fumi sviluppati reazioni chimiche e privo di azioni magnetiche su apparecchi delicati. Il tipo maggiormente impiegato è l'infisso a ghigliottina, caratterizzato da una soglia particolare, disegnata dall'architetto Giuseppe Pagano; per i corridoi sono stati preferiti, per ragioni economiche, infissi a vasistas. A queste due soluzioni cui si aggiunge l'impiego di infissi in ferro costruiti con profilati razionali per vetrate di dimensioni notevoli, quali quelle dell'edificio di Capponi, ma anche quelle del Rettorato, della facoltà di Lettere e di Giurisprudenza che sono però rivestiti in bronzo.

<sup>5</sup> Il rilievo è stato condotto con le seguenti strumentazioni: Scanner Laser 3D a tempo di volo, modello Leica ScanStation C10; la fotocamera digitale reflex modello Nikon D40x, con un grandangolo (18-55 mm) e un teleobiettivo (55-200 mm). La strumentazione è stata messa a disposizione dal Laboratorio LiraLab (Laboratorio di Innovazione per il Rilevamento, la Rappresentazione e l'Analisi dell'Architettura – Dipartimento di Storia Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma).

<sup>6</sup> Raggio della sfera ideale definita dai raggi laser, che ha lo strumento come centro di proiezione.

<sup>7</sup> Il *sample spacing*, o passo di scansione, è la dimensione della maglia quadrata che copre la sfera ideale definita dallo scanner laser e dai raggi uscenti dal centro dello strumento. Il parametro viene definito in base alle finalità del rilievo considerando che la distanza tra due punti successivi dovrà essere compatibile con il livello di incertezza degli elaborati finali da realizzare.

<sup>8</sup> Cfr. Glossario, p. I.

<sup>9</sup> Ci si riferisce alla *Discriptio XIII Regionum Urbis Romae* e ad una bolla del 1217, in cui Papa Onorio III ne fa menzione, parlando di «*formae et alia aedificia positae intra clausuram Clodei*».

<sup>10</sup> I frammenti che la compongono sono 4b, 5a, 5b, 5c, 5dg, 5e, 5f, 5h.

<sup>11</sup> La prima campagna di rilevamento (2009) è stata svolta da Alfonso Ippolito, Maria Cristina Capanna, Francesco Borgogni, Emira Harbaoui, Marco Di Giovanni, Lorenzo Monno; la seconda campagna (2015) è stata invece curata da chi scrive e da Alfonso Ippolito.

<sup>12</sup> Le operazioni di rilevamento integrato sono state condotte attraverso la strumentazione messa a disposizione dal LiraLab (Laboratorio di Innovazione per il Rilevamento, la Rappresentazione e l'Analisi dell'Architettura –

Dipartimento di Storia Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma), costituita da uno Scanner Laser 3D a tempo di volo, modello Leica ScanStation C10, una stazione totale Leica TS02, ed una la fotocamera digitale reflex modello Nikon D40x, con un grandangolo (18-55 mm) e un teleobiettivo (55-200 mm).

<sup>13</sup> La scelta di parametrizzare elementi di dettaglio trova un precedente all'interno di una recente ricerca condotta su un'altra costruzione di epoca romana, il ponte di Augusto a Narni, in cui la modellazione parametrica dei blocchi lapidei si è configurata come strumento utile a leggere e analizzare le fasi temporali per la costruzione della struttura. Per maggiori approfondimenti si veda: L. Paris, C. Inglese, M. L. Rossi.2016. Misura e proporzione nei ponti antichi lapidei. Il ponte di Augusto a Narni. In *DRAWING, BUILDING, DREAMING. Research on graphic expression applied to building*. Atti del convegno internazionale, APEGA2016. Tirant Lo Blanch, pp.593-605.

<sup>14</sup> Le componenti geometriche adattive sono oggetti flessibili, in grado di adattarsi a diversi scenari di progettazione. Nascono per rappresentare diversi motivi all'interno del pannello di facciata continua. Si definiscono attraverso l'inserimento di punti flessibili che consentono di costruire una geometria, producendo un componente adattivo modificabile attraverso lo *snap* ai punti stessi.

<sup>15</sup> Un'altra strada da poter percorrere per identificare i fenomeni di degrado sull'oggetto di studio è costituita dalla possibilità di rappresentarli sulle diverse viste. Questa possibilità, però, permette di legare le informazioni soltanto alla vista a cui si riferiscono e non all'intero modello 3D, riducendo in modo abbastanza significativo quel principio di efficienza su cui si basa l'utilizzo di processi BIM.

<sup>16</sup> Il software utilizzato per la presente sperimentazione è *CloudCompare* (<https://www.danielgm.net/cc/>), che consente di mettere in relazione i modelli attraverso i formati di interscambio .pts, per il modello numerico, e .obj, per il modello parametrico.





## 5. Conclusioni

«Il modello è un dispositivo che sembra comunque possedere una caratteristica fondamentale: una volta costruito, esso tende a funzionare da solo, ad acquisire maggiore autonomia man mano che questo funzionamento si attua, si perfeziona e si generalizza, conquistando campi sempre più vasti e coinvolgendo anche la stessa cultura che lo aveva prodotto. [...] è l'obiettivo, la costruzione, la struttura fondamentale attorno alla quale si articola il tema della rappresentazione architettonica [...] Ma proprio nella misura in cui si è affidato al concetto di modello l'impegnativo ruolo di maggiore strumento critico e di finalità ultima della rappresentazione attribuendogli una sorta di generale capacità risolutiva nei confronti dei temi e dei problemi che via via abbiamo cercato di impostare, vien meno la possibilità di enunciare, per esso, rigide formule definitorie e definitive»

Vittorio Ugo, *Fondamenti della rappresentazione architettonica*, 1994.

Il pensiero dell'architetto palermitano ha offerto numerosi spunti di riflessione nel corso della presente ricerca. Ci si riferisce, in particolare, alla centralità del modello di architettura, alla sua versatilità e al suo carattere transitorio, che sembrano contrapporsi, in qualche modo, alla capacità di esprimere in maniera esplicita diversi aspetti della realtà, sia essa esistente o progettata. La storia della rappresentazione, nel corso dei secoli, ha dimostrato l'importanza della creazione di un modello che rappresenti lo spazio nella sua concretezza attraverso il sapiente uso di tecnica e forma, costituendo lo strumento di conoscenza e di analisi critica per eccellenza. Il modello è, dunque, un processo che porta a scoprire la verità nell'opera, fondato sulla geometria ma anche su parametri culturali, storici, teorici e simbolici. Questo presupposto, ampiamente consolidato, coinvolge anche le modalità attuali per la rappresentazione tra cui si collocano i processi HBIM. Essi si pongono in continuità con tali premesse e costituiscono il punto di partenza per delineare nuovi scenari per conoscere, documentare e intervenire sul patrimonio architettonico. Tali processi seguono le logiche della rappresentazione, fondata su un'ampia struttura che mette in relazione la realtà e i suoi modelli – oggi costruiti per lo più in ambito digitale – attraverso regole proiettive e parametri visuali, riferiti alle immagini, e parametri metrici, riferiti al progetto e al rilievo.

Il continuo confronto tra interventi di nuova progettazione e interventi sul patrimonio esistente ha dimostrato come i processi BIM, che assicurano un controllo maggiore nel processo progettuale, spesso tendono ad escludere informazioni che sono alla base della configurazione e della comprensione dell'architettura. L'ipotesi da cui prende avvio la presente ricerca è la possibilità di applicare in maniera efficace i processi BIM al patrimonio architettonico costruito, delineandone le implicazioni rispetto al campo della rappresentazione e ottimizzando l'utilizzo dei dati ottenuti dalle consolidate operazioni di rilevamento integrato. L'analisi di questi aspetti risulta necessaria dal

momento in cui le applicazioni di BIM hanno coinvolto la gestione dei beni architettonici a livello legislativo, imponendo una connessione tra la ricerca scientifica e l'ambito professionale, che si formalizza nella definizione di un protocollo. Attualmente, infatti, il mondo del BIM è invaso da sperimentazioni sui più vari complessi architettonici, in cui le figure professionali affrontano il problema secondo modalità ancora soggettive, seppure supportate da un vasto background culturale e un'ampia conoscenza degli strumenti *hardware* e *software*. Il presente lavoro porta avanti la tesi secondo cui il momento principale dell'HBIM risiede nella scomposizione dell'architettura, basata su criteri strutturati, e nella sua ricostruzione attraverso un modello ideale, che garantiscano l'efficacia e il rigore scientifico dell'intero processo.

Identificare due casi studio nell'ambito del patrimonio architettonico, appartenenti a due epoche storiche lontane tra loro, caratterizzati da un diverso approccio formale e da un diverso impianto strutturale e tecnologico, ha consentito di valutare la validità del processo seguito. La definizione di un corretto protocollo prende in considerazione sia l'aspetto teorico culturale, sia quello tecnico operativo, con i rispettivi limiti: il primo, essenzialmente legato alla ricerca, non si confronta quasi mai con i tempi (e quindi con le scadenze) proprie dell'ambito professionale; il secondo non considera le implicazioni culturali di alcune decisioni prese nella fase di modellazione. La sintesi tra i due aspetti, portata avanti per l'Istituto di Botanica e per il Tempio del divo Claudio, ha consentito di puntualizzare le operazioni che siano allo stesso tempo corrette culturalmente e utili operativamente.

L'analisi dei dati 1D e 2D, recuperati nella ricerca bibliografica e archivistica, e dei dati 3D, raccolti in fase di rilevamento, ha consentito di strutturare i modelli scomponendo ciascun edificio rispetto agli elementi architettonici e alla definizione ontologica delle entità di cui si compone. Il criterio seguito nella scomposizione delle architetture analizzate corrisponde alla loro impostazione progettuale, e prevede l'elaborazione dei dati 1D, 2D e 3D secondo modalità e pesi differenti. Tale affermazione offre un'importante chiave di lettura del lavoro presentato. Affermare che ogni oggetto del patrimonio architettonico presupponga un trattamento specifico, per quanto non completamente scorretto, da un punto di vista concettuale e operativo minimizzerebbe le potenzialità dell'approccio BIM, di cui si riconosce il valore proprio in qualità di processo. Entrambi i casi hanno dimostrato che anche gli edifici esistenti possono essere scomposti negli elementi ricorrenti se su di essi vengono riconosciuti determinati schemi geometrici. Questa regolarità è l'elemento che denota il singolo edificio, più che rispetto alle sue caratteristiche specifiche, come appartenente ad una determinata tipologia architettonica che, in quanto tale, include elementi seriali aderenti a leggi geometriche, di forma e di aggregazione tra componenti.

Una volta riconosciute individuate matrici o regole compositive deducibili più o meno chiaramente sul manufatto o su parti di esso, il processo HBIM si confronta con l'accettazione di una inevitabile semplificazione geometrica. Da questa dipende il grado di affidabilità del modello in termini di accuratezza geometrica e rispondenza semantica tra i dati acquisiti e il prodotto della loro interpretazione critica e soggettiva. In quest'ottica, la costruzione del modello BIM coincide con la costruzione di un modello ideale.

Alla luce del lavoro svolto, quindi, è possibile trarre tre ordini di considerazioni, che aprono ad ulteriori riflessioni nell'ambito dell'HBIM.

Il primo riguarda il confronto con il pensiero, comunemente diffuso, secondo cui l'applicazione del BIM ad edifici esistenti sia un elemento di svantaggio nella misura in cui esso conduca ad una eccessiva semplificazione, lontana dallo stato di fatto dell'edificio. Infatti, i limiti legati alla rappresentazione di forme che caratterizzano le architetture storiche e alla parametrizzazione di geometrie che non sempre si possono ricondurre ad una regolarità senza giungere a notevoli approssimazioni, possono essere superati attraverso le informazioni sugli elementi del manufatto considerato, che trovano collocazione nello spazio del modello 3D. La questione, quindi, non è soltanto connessa ad operazioni pratiche rese possibili dalle piattaforme BIM-*authoring*, ma è più prettamente culturale.

Un modello non completamente rappresentativo dello stato di fatto è un modello che indentifica il processo di ricerca dello stato di progetto. A questo proposito, occorre tener presente che qualsiasi edificio, che oggi si presenta a noi come una costruzione storica, è comunque l'esito di un'attività progettuale che, seppur secoli fa, ha dato origine ad una nuova progettazione. Si tratta di applicare un principio che considera un edificio esistente al pari di uno di nuovo, facilitando l'applicazione dei processi BIM nel momento in cui anche la modellazione di un'architettura storica coincide con la modellazione di uno stato di progetto.

Il secondo ordine di considerazioni esamina maggiormente gli esiti della fase sperimentale della ricerca condotta sui due complessi architettonici. Essa ha messo in luce quanto la gestione del modello ideale sia diversa se la struttura oggetto di indagine è stata realizzata un secolo fa o due millenni.

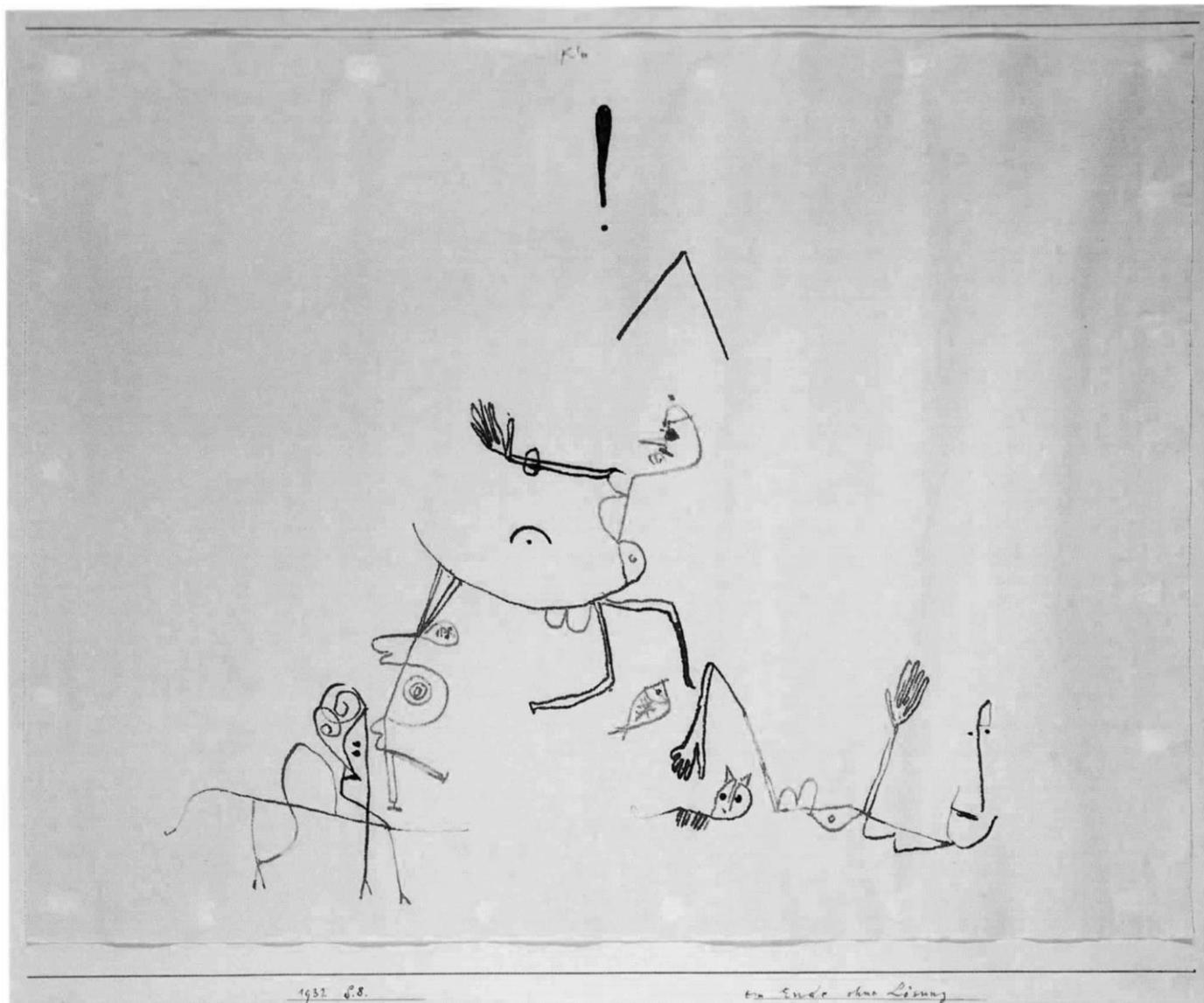
Nel modello di un'architettura moderna, l'organizzazione reciproca di elementi (pilastri, travi, pavimenti, muri, ecc.) è stata impostata secondo gli standard del periodo e tutti gli oggetti digitali sono caratterizzati dagli attributi propri del BIM (materiali, strati costruttivi, ecc.), avvicinandosi molto all'edificio realizzato. Il modello di un complesso stratificato, invece, è la sintesi di più modelli ideali che rappresentano le fasi evolutive del manufatto, fino ad arrivare allo stato attuale. Gli esiti della ricerca storica si rivelano quindi essenziali per raccogliere e selezionare le informazioni necessarie provenienti da testi, immagini, disegni, filmati e spesso da altre fonti imprevedibili, che descrivano il progetto dell'edificio originale, non solo in termini di geometria ma soprattutto da un punto di vista tecnologico, materiale e costruttivo. I processi BIM, attualmente, non tengono in considerazione questo aspetto e si riferiscono principalmente alla configurazione degli oggetti nel presente. Tuttavia, i principali applicativi software contengono strumenti per rappresentare la collocazione temporale di un oggetto attraverso regole di sostituzione grafica, ampiamente usate nel campo della progettazione per identificare le operazioni di demolizione e ricostruzione. Nei processi HBIM, tali funzionalità, possono essere impiegate proprio per descrivere ogni fase della vita dell'edificio tramite un modello o, viceversa, ogni oggetto che compone il modello può essere contraddistinto dall'attributo di appartenenza ad una determinata fase storica, o a diversi momenti di acquisizione dei dati. I diversi modelli sono tra loro collegati non solo dal punto di vista logico, tecnologico, semantico e costruttivo, ma anche da quello temporale, sovrapponendosi tra loro rispettando le regole dei processi BIM rispetto alle famiglie e alle leggi di connessione. Il valore critico e documentario della rappresentazione e la sua funzione produttiva di modelli, consente il confronto con altri modelli considerati fondamentali che, integrati dai diagrammi LOR, favoriscono e estendono la conoscenza profonda del patrimonio architettonico e, di conseguenza, la pianificazione di interventi mirati alla sua conservazione e valorizzazione.

Il terzo ordine di considerazioni riguarda il protocollo seguito, ritenuto valido per poter essere applicato a casi studio riconducibili ad una determinata tipologia architettonica. La presente ricerca dimostra che è possibile seguire le indicazioni proposte sia rispetto al principio analitico della scomposizione dell'architettura esistente, sia rispetto alla sua ricostruzione attraverso modelli parametrici integrati. L'ambito del patrimonio architettonico esistente, pur essendo caratterizzato da una vasta quantità di esempi eterogenei, offre comunque la possibilità di stabilire regole generali che tengano però in considerazione gli aspetti peculiari degli edifici analizzati. Si pensi ad esempio alla possibilità di utilizzare per tutti gli edifici della Sapienza le modalità usate per strutturare le famiglie nidificate, o a quella di utilizzare un approccio parametrico per la modellazione di tutti gli elementi dell'architettura romana caratterizzati da rapporti di proporzionalità.

L'aver ottenuto risultati positivi nel testare il processo su due casi studio, tanto significativi quanto differenti, dimostra la sua validità aprendo la possibilità di applicarlo ad elementi che facciano riferimento ad un tipo architettonico, quale che sia la loro epoca storica di appartenenza. La costruzione di modelli attraverso processi BIM mette in relazione la massa degli elementi che l'architettura offre alla sua analisi. Nel campo del patrimonio costruito si agisce in modo selettivo, interpretativo e valutativo, inserendo l'opera in un contesto che tiene conto contemporaneamente della sua dimensione originaria e di quella attuale. L'HBIM esprime lo *skhema* – inteso secondo il significato della tradizione greca come l'insieme dei dati strutturali e delle proprietà specifiche. Va oltre il visibile e riassume l'aspetto spaziale e storico dell'architettura, la cui rappresentazione si esprime come modello criticamente operativo e «astratto del contingente, che permette di vedere con gli occhi dell'intelletto<sup>1</sup>».

---

<sup>1</sup> Ugo, V., 1994, p.75.



Paul Klee, *Ein Ende ohne Lösung*, *Una fine senza soluzione*, 1932



## Glossario

### **As-built**

Modello BIM che dà la possibilità al Committente di avere un progetto che rappresenta perfettamente la realtà. Comprende tutte le modifiche e le varianti che sono state eseguite al progetto originario durante la fase di realizzazione.

### **Beni Culturali**

Il d.lgs. n. 42/2004 introduce il nuovo codice per i Beni Culturali e Paesaggistici. Per la prima volta si giunge a dare una definizione di *bene culturale*. L'articolo 2, sancisce che «Il patrimonio culturale è costituito dai beni culturali e dai beni paesaggistici. Sono beni culturali le cose immobili e mobili che [...] presentano interesse artistico, storico, archeologico, etnoantropologico, archivistico e bibliografico e le altre cose individuate dalla legge o in base alla legge quali testimonianze aventi valore di civiltà. Sono beni paesaggistici gli immobili e le aree [...] costituenti espressione dei valori storici, culturali, naturali, morfologici ed estetici del territorio, e gli altri beni individuati dalla legge o in base alla legge».

### **BIM (Building Information Modeling)**

Processo che utilizza un modello tridimensionale contenente tutte le informazioni che riguardano l'intero ciclo di vita di un'opera, dal progetto alla costruzione, fino alla sua demolizione e dismissione.

Il modello, informativo, dinamico, interdisciplinare, condiviso e in continua evoluzione, contiene dati su geometria, materiali, struttura portante, caratteristiche termiche e prestazioni energetiche, impianti, costi, sicurezza, manutenzione.

### **BIM oriented**

Modalità di progettazione che consente di poter comunicare, senza perdita qualitativa, con colleghi e partner che usano altri software, il proprio progetto e tutti i dati in esso presenti. La possibilità di produrre dati interoperabili da parte dei progettisti, è garantita dalla compatibilità con il formato IFC.

### **Database**

Archivio dati, in cui le informazioni in esso contenute sono strutturate e collegate tra loro secondo un modello logico (relazionale, gerarchico, reticolare o a oggetti) e in modo tale da consentire la gestione/organizzazione efficiente dei dati grazie a particolari applicazioni software dedicate (DBMS).

### **Dataset**

Collezione di dati. In informatica si usa questo termine per indicare un insieme di dati strutturati secondo una logica relazionale, ovvero organizzati in forma di tabella.

### **DBMS (Data Base Management System)**

Sistema di gestione di banche dati. Le principali funzioni sono garantire il mantenimento della corretta strutturazione dei dati in diversi database e facilitare l'accesso delle applicazioni ai dati stessi.

### **Device**

Dispositivi che possono essere attaccati ad un computer o i dispositivi portatili destinati alla navigazione internet.

### **Facility Management**

FM e BIM sono due acronimi che rappresentano un connubio vincente per la modernizzazione del comparto della gestione del costruito. L'adozione del BIM e la conseguente modellazione 3D comprendente le informazioni utili al Facility Manager è la nuova frontiera per molti dei processi di manutenzione.

### **Famiglie**

Gruppo di elementi con un insieme di proprietà comuni, denominate parametri, ed una rappresentazione grafica associata. I modellatori che lavorano tramite processi BIM organizzano le famiglie distinguendo diverse categorie. Le *famiglie di sistema* costituiscono la struttura dell'intero modello e risiedono unicamente all'interno di un file di progetto; esse comprendono gli elementi necessari all'impostazione del modello, quali livelli, griglie strutturali, e impostazioni di sistema, considerandoli come parametri di progetto. Le *famiglie caricabili* costituiscono lo strumento più importante dei software di modellazione parametrica; esse consentono di coprire la vasta gamma di esigenze legate alla progettazione di un edificio; vengono inserite all'interno di un progetto prelevandole da librerie esterne e possono essere personalizzate rispetto alla

forma, all'aspetto, al livello di dettaglio, ai parametri. Le *famiglie locali* comprendono tutti gli elementi del progetto per i quali, data la loro specificità, l'uso di famiglie caricabili risulta non conveniente. Sostanzialmente possono essere pensate come *famiglie caricabili*, in quanto ne possiedono le caratteristiche, ma che risiedono solo all'interno del progetto, come le *famiglie di sistema*, perché non è necessario un loro riutilizzo in progetti differenti. Nonostante possano apparire più semplici da utilizzare, perché legate alla modellazione di emergenze locali, esse incidono significativamente sulle performance dei software. A differenza delle *famiglie caricabili*, che vengono calcolate come una sola famiglia a prescindere dal numero di volte in cui vengono inserite all'interno di un progetto, le *famiglie locali* vengono calcolate e analizzate ogni volta come un nuovo elemento.

### **GDL (Geometric Description Language)**

Linguaggio di descrizione geometrica) è un linguaggio di programmazione utilizzato per costruire oggetti 2D e/o 3D più o meno complessi, come elementi architettonici o componenti d'arredo, con i relativi attributi (colori, materiali, ecc.), e per editarli agendo sul valore di parametri che consentono di intervenire su dimensioni, tipologia e forme. Grazie ad appositi plug-in, tali oggetti possono essere inseriti, visualizzati ed esplorati sia all'interno di sistemi CAD, sia nei più comuni browser Internet.

### **Gis (Geographical Information System)**

Banca dati relazionale a base cartografica, prodotta con l'ausilio di dati acquisiti via satellite. A ciascuna porzione di area rappresentata sulla carta geografica e individuata mediante un sistema di coordinate, viene correlata una serie di informazioni codificate in forma

numerica e quindi grafica. Gestiscono e mettono in relazione dati 2D (GIS classici), modelli 3D (GIS 3D), sistemi informativi geografici estesi e pubblicati su web (WebGis).

**HBIM (Heritage/Historical Building Information Modeling)**

Processo BIM applicato al patrimonio storico costruito.

**HTML (HyperText Markup Language)**

Linguaggio informatico usato per la formattazione di documenti ipertestuali disponibili sotto forma di pagine web.

**ICT (Information and Communication Technology)**

Indica la convergenza dell'informatica con le telecomunicazioni, identificando ogni settore legato allo scambio di informazioni e tutti i metodi e le tecnologie che servono a realizzarlo, compreso l'hardware, il software e i servizi connessi.

**IFC (Industry Foundation Classes)**

Standard globale per lo scambio dei dati nel settore dell'edilizia. IFC è sia un modello dei dati, sia un formato di file aperto, che consente agli operatori del settore delle costruzioni di condividere i dati indipendentemente da quale applicazione software utilizzano per realizzare il loro lavoro. Tale formato offre la possibilità di fornire una continuità temporale ai dati di una certa fase del ciclo di vita dell'edificio. In questo modo, gli stessi dati possono essere utilizzati per la fase successiva, senza doverli riscrivere o utilizzare interfacce di importazione personalizzate o plug-in proprietari.

La maggioranza dei protocolli nazionali BIM e le normative da cui derivano è probabile che richiedono l'uso di IFC a partire dalla richiesta (capitolato informativo) o l'offerta di gestione informativa.

**Interoperabilità**

Possibilità di scambiare i dati contenuti nel modello progettuale di partenza tra diverse piattaforme software e applicativi destinati alle diverse funzionalità coinvolte nelle attività, dalla fase di realizzazione dell'opera, alla manutenzione alla dismissione. Tradizionalmente, i software specializzati sviluppati per la gestione ed elaborazione dei dati all'interno di specifici settori, quale quello dell'ingegneria delle costruzioni, mancavano della capacità di integrarsi reciprocamente, la trasversalità dell'approccio BIM richiede necessariamente la massima accessibilità di tali informazioni di progetto e di processo a tutti i soggetti coinvolti.

**LOD (Level of Detail)**

Misura dell'affidabilità delle informazioni di tipo tecnico ed economico contenute in un modello BIM

**LOD (Level of Development)**

Dettaglio grafico con cui un modello, o un oggetto digitale del modello, può essere visualizzato e rappresentato in fase di output. La classificazione dei Level of Development più nota è quella contenuta nelle BIM Guidelines del New York City Department of Design and Construction, nella quale il livello di sviluppo degli oggetti digitali del modello cresce dal LOD 100 al LOD 500, che non corrispondono alle scale canoniche di rappresentazione del progetto.

LOD 100: elementi modellati in maniera concettuale, costituiti da un volume o una massa semplificati, al quale sono attribuite informazioni minime;

LOD 200: elementi hanno una definizione semantica (relativa alla tipologia di appartenenza) e una conformazione geometrica approssimata ma definita;

LOD 300: oggetto digitale deve essere ben definito sia dal punto di vista geometrico (stratigrafie, forma, posizione nello spazio), sia delle informazioni attribuite (tipologia dei materiali, collocazione temporale);

LOD 400: si giunge ad un grado di dettaglio geometrico ed informativo ancor più accurato, tipico di un progetto esecutivo o costruttivo, nel quale gli aspetti computazionali, prestazionali e realizzativi dovranno essere definiti;

LOD 500: la simulazione si confronta con il momento effettivo della costruzione; gli elementi del modello dovranno infatti essere talmente definiti a livello informativo che per gli stessi si potranno programmare, non solo la fornitura e posa in opera, ma anche tutte le attività connesse alla gestione e manutenzione del bene architettonico.

### **LOD (Level of Development) per il restauro (UNI 11337)**

Il LOD di un oggetto digitale viene considerato come risultato della combinazione del livello di sviluppo geometrico (LOG Level of Geometry) e del livello di sviluppo informativo (LOI Level of Information). La classificazione dei LOD, esplicitata nella parte quarta della norma, si basa su una scala crescente da A a G. Le scale di LOD sono state definite in maniera specifica per la nuova costruzione ed il recupero, il territorio e le infrastrutture, i mezzi e le attrezzature, il restauro ed i beni vincolati. Con riferimento a quest'ultima categoria, la norma italiana ha provveduto ad identificare i seguenti parametri, legandoli anche alle modalità di rappresentazione:

- LOD A: oggetto digitale simbolico;

- LOD B: oggetto digitale generico;
- LOD C: oggetto digitale definito;
- LOD D: oggetto digitale dettagliato;
- LOD E: oggetto digitale specifico;
- LOD F: oggetto digitale eseguito;
- LOD G: oggetto digitale aggiornato.

La norma UNI identifica con il LOD A un oggetto digitale simbolico, anche rappresentato in 2D. Nei successivi Livelli di Sviluppo degli Oggetti Digitali, dal LOD B al LOD E, si può leggere la medesima progressione dell'accuratezza delle informazioni che da un meta-progetto (o studio di fattibilità), giunge al progetto esecutivo attraverso gli *step* convenzionali del progetto preliminare e definitivo. Maggiore attenzione, invece, la si può dedicare agli ultimi due gradini della scala: il LOD F e il LOD G. Il primo è relativo al cosiddetto *as-built*, ovvero alla modellazione geometrica e informativa di quanto effettivamente realizzato, compresi tutti gli eventuali aggiornamenti o le varianti intervenute in corso d'opera, e verificato sul posto; le informazioni relative agli oggetti digitali sono molto dettagliate poichè il *database* BIM ha lo scopo di garantire la rispondenza dell'opera al progetto autorizzato e alle diverse norme, e di pianificare gli interventi manutentivi nel tempo. Il LOD G identifica la modellazione specifica di un oggetto digitale in una fase aggiornata rispetto ad un precedente stato di fatto, ovvero prende in considerazione le modifiche subite successivamente a determinati interventi sull'elemento nel suo stesso ciclo di vita. In questo senso, questo livello può essere inteso anche come la modellazione della storicità di un oggetto digitale, in considerazione ad esempio delle modificazioni da questo subite e dovute a fenomeni di degrado della materia.

### **Mesh**

Nel campo della modellazione 3D, la mesh poligonale (generalmente di forma triangolare) è l'insieme di vertici, spigoli e facce che definiscono la forma di un oggetto.

### **Metadati**

Informazioni che descrivono dei dati. Attraverso i metadati un documento può essere: ricercato, localizzato, selezionato, gestito e descritto attraverso l'interoperabilità semantica, ovvero attraverso quel processo per cui un documento può essere ricercato in ambiti disciplinari diversi grazie al confronto tra descrittori. I descrittori sono da considerarsi come dei termini chiari e definiti che descrivono, appunto, il dato.

### **Modello**

Prodotto dell'operazione di selezione operata da un soggetto su un oggetto (reale o immaginario) in modo da estrarre da quest'ultimo alcune tra le innumerevoli informazioni disponibili. Esso è una ricostruzione teorica o la simulazione astratta di un oggetto, o sistema, o concetto, che descrive con maggiore o minore approssimazione la struttura o le funzioni di ciò che intende rappresentare mediante alcuni parametri (metrici, angolari, di colore o altro).

Questo procedimento instaura una corrispondenza biunivoca tra l'oggetto e la sua rappresentazione, un modello, sia esso bidimensionale o tridimensionale, fisico o digitale, su cui simulare le più svariate operazioni come se effettivamente fossero compiute nella realtà.

Qualsiasi oggetto, sottoposto alle operazioni di proiezione e sezione secondo le regole della Scienza della Rappresentazione, diviene modello grafico bidimensionale o un modello tridimensionale. Nel

primo caso lo strumento che garantisce l'efficienza dei meccanismi di controllo e manipolazione del modello grafico è il disegno, nel primo caso, l'efficienza dei meccanismi di controllo e manipolazione del modello tridimensionale è garantita dal disegno, nel secondo, invece, dal modellatore (software di modellazione).

### **Modello 1D**

Dato testuale che descrive un oggetto in forma numerica o alfanumerica e ne permette la ricostruzione di modelli 2D/3D all'interno di uno spazio virtuale.

### **Modello 2D**

Deriva dal prodotto dell'operazione di proiezione e sezione di un modello di un oggetto nello spazio. I modelli 2D coincidono con i modelli grafici e di fatto con i disegni con cui vengono convenzionalmente rappresentati alle diverse scale gli elementi costruiti. Sono dunque modelli 2D le prospettive, le assonometrie, le proiezioni quotate e le proiezioni ortogonali.

### **Modello 3D**

Elemento tridimensionale derivante da operazioni di discretizzazione (caso del rilievo) o costruzione virtuale (caso del progetto). Esso può essere materiale (plastico, stampa 3D) o immateriale (modello virtuale). In questo secondo caso il modello 3D è connesso all'uso e alle caratteristiche di modellatori, software che consentono di interagire con un ambiente digitale che, inizialmente vuoto, permette via via di costruire elementi che, composti insieme, riproducono il modello. Si instaura così una corrispondenza diretta tra spazio fisico e spazio virtuale: ciascun punto materiale  $P_r$  individuato mediante le sue coordinate  $x_r, y_r, z_r$  nello spazio reale, trova infatti immediatamente il suo corrispondente virtuale  $P_v$ ,

anch'esso identificato da una terna univoca di coordinate cartesiane  $xv, yv, zv$ .

### **Modello architettonico**

Sulla base del modello geometrico, fornisce la configurazione degli elementi così come interpretata dallo studioso rilevatore che, attraverso una caratterizzazione grafica, esprime anche la qualità delle superfici e il loro stato di conservazione.

### **Modello geometrico**

Astrazione geometrica costituita di entità geometriche semplici (punti, linee, superfici). Un modello di questo tipo è caratterizzato dalla definizione delle principali discontinuità degli elementi rappresentati, le cui componenti vengono espresse nella loro essenza geometrica, risultando utile alla comprensione della geometria, delle proporzioni, della posizione reciproca degli elementi che compongono l'oggetto.

Dal punto di vista degli elaborati del rilievo, tali modelli rappresentano la morfologia e la spazialità del manufatto, escludendo informazioni sulla caratterizzazione cromatica e sullo stato di conservazione dell'oggetto rilevato. Contengono, invece, i dati effettivamente rilevati e indicazioni di natura quantitativa e qualitativa sulla metodologia di rilevamento utilizzata e sulle operazioni svolte per l'acquisizione dei dati.

### **Modello matematico**

Modello la cui forma è descritta in modo continuo attraverso equazioni parametriche che definiscono la superficie. Tra le entità matematiche più utilizzate a questo scopo troviamo attualmente le superfici NURBS.

### **Modello numerico (point cloud)**

Sintesi del dato di rilievo che registra ogni singola informazione acquisita, metrica e cromatica. Il termine si riferisce a un modello, anche noto come nuvola di punti, la cui forma è descritta attraverso le coordinate spaziali  $x, y, z$  dei singoli punti.

### **Modello parametrico**

La parametrizzazione definisce una serie di variabili, e le relazioni tra di esse, che possono essere modificate per alterare il risultato finale di un sistema. Nel campo della modellazione, si fa riferimento alle relazioni esistenti tra tutti gli elementi del modello, ne consentono il coordinamento e la gestione di modifiche legate alla forma e alla geometria. Le relazioni possono essere create automaticamente dai software di modellazione, o personalizzate dall'utente nel corso delle operazioni.

### **Modello semantico (o modello concettuale)**

La modellazione concettuale è una tecnica nota di progettazione di dati che si contrappone alla modellazione mentale, che descrive idee di un determinato dominio attraverso la rappresentazione simbolica di concetti. Essa costituisce una visione semplificata della realtà, osservata individuandone gli elementi caratterizzanti e i legami che tra di essi intercorrono, espressi attraverso degli schemi. Ha lo scopo di esprimere il significato di termini e concetti usati dagli esperti del dominio per discutere il problema, e di trovare le giuste relazioni tra concetti differenti.

Con riferimento alla modellazione tridimensionale dell'architettura, il modello semantico è un modello costituito da concetti, ovvero dalle entità e dalle loro relazioni. Il suo obiettivo è quello di identificare in maniera univoca la rappresentazione nello spazio diversi elementi descritti con termini che talvolta

possono risultare ambigui, evitando così problemi di interpretazione. In questo modo, i concetti alla base del modello favoriscono una progettazione orientata agli oggetti, legati tra loro in maniera coerente sia con le logiche progettuali, sia con le regole compositive e strutturali.

### **Modello texturizzato**

Modello ottenuto con tecniche basate sull'elaborazione digitale di immagini che ricorre al *texture mapping* per definire nel dettaglio gli aspetti formali e lo stato di conservazione dell'organismo creando un continuo scambio tra l'oggetto rappresentato e il fruitore. Si crea un rapporto biunivoco tra rappresentazione iconica e virtualizzazione dell'organismo rilevato, che rende il modello texturizzato adatto sia a utenti generici, poiché è una rappresentazione è molto vicina alla realtà, sia a utenti specializzati poiché il livello di dettaglio fotografico è legato all'informazione metrica.

### **Modellazione solida**

Creazione di oggetti solidi mediante rappresentazione matematica, che può essere sviluppata secondo tre diversi approcci. Il primo, quello della decomposizione spaziale, si basa sulla decomposizione dello spazio in blocchi elementari non sovrapposti la cui unione rappresenta il modello stesso. Il secondo, si basa sulla geometria solida costruttiva e prevede l'utilizzo di un insieme iniziale di primitive geometriche; le istanze di tali primitive, opportunamente combinate attraverso operazioni booleane rappresentano il modello solido. Il terzo, si basa sulla rappresentazione del contorno e descrive il modello solido mediante l'insieme delle superfici,

delle curve e delle loro connessioni che ne rappresentano, appunto, il contorno.

### **Ontologia**

Disciplina che si occupa di uno dei primi e fondamentali problemi della filosofia: definire cosa esiste e di conseguenza cosa non esiste e/o è una rappresentazione di un altro oggetto.

Nel campo dell'informatica, l'ontologia è una rappresentazione formale, condivisa ed esplicita, di una concettualizzazione di un dominio di interesse. Con riferimento alla rappresentazione della conoscenza, viene utilizzata per descrivere il modo in cui diversi schemi vengono combinati in una struttura dati contenente tutte le entità rilevanti e le loro relazioni in un dominio. I programmi informatici possono usare l'ontologia per una varietà di scopi, tra cui il ragionamento induttivo, la classificazione, e svariate tecniche per la risoluzione di problemi.

Con riferimento ai processi BIM, le ontologie aggiungono un orientamento sulla natura degli elementi del soggetto descritto, basato su assiomi logici.

### **Open source**

Software il cui codice sorgente viene reso pubblico dai suoi autori, al fine di rendere possibile l'intervento di altri programmatori indipendenti, che possono quindi apportarvi modifiche ed estensioni. Internet è il canale principale di diffusione delle informazioni.

### **OWL (Web Ontology Language)**

Linguaggio per rappresentare esplicitamente significato e semantica di termini con vocabolari e relazioni tra gli stessi (le ontologie). Lo scopo di OWL è descrivere delle basi di conoscenze, effettuare delle deduzioni su di esse e integrarle con i contenuti delle

pagine web. OWL rende possibile, ad esempio, ricerche nel web che superino i problemi di omonimia e ambiguità presenti nelle normali ricerche testuali; applicazioni che effettuino delle deduzioni sui dati. Insieme a RDF, di cui è un'estensione, OWL fa parte del progetto del web semantico.

### **Paradati**

Come definizione generale, i paradati sono dati sull'utilizzo delle risorse di apprendimento che includono informazioni non solo metriche quantitative (ad esempio quante volte è stato utilizzato un contenuto), ma anche relative al contesto. I Paradati possono essere considerati come un tipo specifico di metadati; tuttavia, mentre i metadati classificano le proprietà delle risorse, la struttura dei paradati implica l'acquisizione e la condivisione aperta di informazioni. L'utilizzo dei paradati prevede un'interazione con l'utente che si esplicita in azioni come la visualizzazione, il download, la condivisione ad altri utenti, il favorire e incorporare contenuti riutilizzabili o nuove risorse.

Definiti dalla Carta di Londra (<http://www.londoncharter.org/downloads.html>)

come le informazioni riguardanti i procedimenti umani del capire ed interpretare i dati stessi. I paradati vengono in tal modo continuamente creati, senza essere sistematicamente registrati o divulgati. Esempi di paradati includono metodi di registrazione di note in un rapporto di laboratorio, descrizioni immagazzinate all'interno di un archivio strutturato che dimostra come l'evidenza è stata usata per interpretare un manufatto, oppure un commento sulle premesse metodologiche all'interno di una ricerca pubblicata.

### **RDF (Resource Description Framework)**

Strumento base proposto per la codifica, lo scambio e il riutilizzo di metadati strutturati e per consentire l'interoperabilità semantica tra applicazioni che condividono le informazioni sul Web. È costituito da due componenti: Il modello di dati RDF è formato da risorse, proprietà e valori. Le risorse sono, principalmente, una risorsa è reperibile sul web. Le proprietà sono delle relazioni che legano tra loro risorse e valori, identificate da URI (Uniform Resource Identifier, ovvero una sequenza di caratteri che identifica univocamente una risorsa generica. Sono esempi di URI: un indirizzo web (URL), un documento, un'immagine, un file, un servizio, un indirizzo di posta elettronica, ecc.). Un valore, invece, è un tipo di dato primitivo, che può essere una stringa contenente l'URI di una risorsa.

### **Rilevamento**

Sistema di conoscenza che comprende la procedura di acquisizione dei dati con lo scopo di ottenere la massima oggettività. Le tecniche per il rilevamento 3D si esplicitano nelle metodologie di rilevamento non a contatto, che hanno lo scopo di restituire all'interno di uno spazio tridimensionale la rappresentazione virtuale di un oggetto reale. Oggi le modalità di rilevamento 3D altamente specializzate, come scanner laser 3D short range e long range, si confrontano con quelle speditive (come la cosiddetta Structure from Motion, metodologia image-based) caratterizzate da una maggiore velocità nelle procedure di acquisizione ed elaborazione del dato ottenuto.

### **Rilievo**

Processo che prevede il passaggio dall'oggetto reale alla sua rappresentazione, che porta alla definizione di modelli grafici o virtuali attraverso un processo di

lettura critica che un soggetto opera su un dato manufatto. Coincide spesso nel linguaggio corrente con gli elaborati 2D e 3D in grado di descrivere l'oggetto alla scala di rappresentazione più opportuna.

### **Semantica**

Ramo della linguistica che si occupa dei fenomeni del linguaggio non dal punto di vista fonetico e morfologico, ma guardando al loro significato.

### **Software**

Programmi e procedure utilizzati per far eseguire al computer un determinato compito. I software di base vengono identificati col sistema operativo e sono indispensabili per il funzionamento della macchina. Vengono realizzati sulla base delle possibilità che offre il sistema operativo stesso e tra essi si trovano applicazioni gestionali calibrate sulle esigenze del singolo utente.

### **Tassonomia**

Disciplina della classificazione. Si usa questo termine anche per indicare la classificazione gerarchica delle informazioni.

### **Texture mapping**

Nella computer grafica, è l'aggiunta di un colore o di un'immagine (texture) ad un modello 3D.

### **Tool**

Nel linguaggio informatico è una applicazione che svolge un determinato compito (ad esempio un correttore ortografico).

### **Web-based**

Software "basati sul web" in cui tutte le funzioni del programma sono accessibili grazie ad un browser, ad esempio Internet Explorer, senza necessità che il software stesso sia installato sul computer.

### **Web semantico**

Trasformazione del World Wide Web in un ambiente in cui i documenti pubblicati (pagine HTML, file, immagini, e così via) sono associati ad informazioni e dati (metadati) che ne specificano il contesto semantico in un formato adatto all'interrogazione e l'interpretazione (es. tramite motori di ricerca) e, più in generale, all'elaborazione automatica.

### **www (World Wide Web)**

Servizio di Internet che permette di navigare ed usufruire di un insieme vastissimo di contenuti (multimediali e non) collegati tra loro attraverso link progettati.



## **Bibliografia**

### **Processi BIM**

Azhar, S. 2010. *BIM for sustainable design: Results of an industry survey*. In *Journal of Building Information Modeling*, pp. 27-28.

Bernstein, H. M., Jones, S. A., & Russo, M. A. 2010. *Green BIM: How building information modeling is contributing to green design and construction*. Bedford, MA: McGraw-Hill Construction.

Boecker, J., Horst, S., Keiter, T., Lau, A., Sheffer, M., Toevs, B., Reed, W. 2009. *The Integrative Design Guide to Green Building, Redefining the Practice*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Bower, N. 2009. *LEED-ing your project into the green revolution*. Autodesk University 2009 Conference. Las Vegas: Nevada.

Caputi M., Odorizzi P., Stefani M. 2015. *Il Building Information Modeling. BIM. Valore, gestione e soluzioni operative*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli editore

Ciribini, A.L. 2013. *L'information modeling e il settore delle costruzioni: IIM e BIM*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli editore.

Del Giudice, M., & Osello, A. 2013. BIM for cultural heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, pp. 225-9.

Deutsch, R. 2011. *BIM and Integrated Design: Strategies for Architectural Practice*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Fiamma, P. 2004. *Building Information Modelling: the innovative dimension for the technical architecture mode*. Pisa: Edizioni Il Campano.

Kymmel, W. 2008. *Building information modeling - Planning and managing construction projects with 4d CAD and simulations*. New York: McGraw Hill.

Osello, A. 2012. *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*. Palermo: Dario Flaccovio Editore.

Schoen, D. 1983. *The Reflective Practitioner: How professionals think in action*. London: Temple Smith.

Schmitt, G. 1998. *Information architecture - Basi e futuro del CAAD*. Torino: Testo & Immagine.

Stumpf, A. L, Kim, H. & Jenicek, E. M. 2011. Early Design Energy Analysis Using Building Information Modeling Technology. In *Office of the Assistant Chief of Staff for Installation Mangement (ACSIM)*. Arlington: StruSoft.

Zacchei, V. 2010. *Building information modeling. Nuove tecnologie per l'evoluzione della progettazione*. Roma: Aracne.

### **HBIM per il Cultural Heritage**

Achille, C., Lombardini, N., & Tommasi, C. 2015. BIM and cultural heritage: compatibility tests in an archaeological site. *WIT Transactions on The Built Environment*, 149, pp. 593-604.

Adami, A., Chiarini, S., Cremonesi, S., Fregonese, L., Taffurelli, L., & Valente, M. V. 2016. The survey of cultural heritage after an earthquake: the case of Emilia–Lombardia in 2012. *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 161-168.

Apollonio, F.I., Gaiani, M., Sun, Z. 2016. A reality integrated BIM for architectural her-itage conservation, *Handb. Res. Emerg. Technol. Archit. Archaeol. Herit.* Retrieved from: <https://www.aiacontracts.org/contract-documents/19016-project-bim-protocol>.

Apollonio, F.I., Gaiani, M., Sun, Z. 2013. 3D modeling and data enrichment in digitalreconstruction of architectural heritage. *ISPRS Arch.* 5,2013, pp. 43-48.

Azhar, S. 2010. BIM for sustainable design: Results of an industry survey. *Journal of Building Information Modeling*, pp. 27-28.

Baik, A. 2017. From point cloud to jeddah heritage BIM nasif historical house–case study. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 4, pp. 1-18. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.daach.2017.02.001>

Baik, A., Yaagoubi R., Boehm, J. 2015. Integration of Jeddah Historical BIM and 3D GIS Documentation and Restoration of Historical Monument. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), pp. 73-78.

Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Previtali, M., & Roncoroni, F. 2016. BIM from 1123 laser scans... not just for buildings: NURBS-based parametric modeling of a medieval bridge. *ISPRS Annals of the Photogrammetry and Remote Sensing*, 5, 2016, pp. 57-63.

Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R., Previtali, M. 2015. Creation of parametric BIMObjects from point clouds using nurbs. *Photogramm. Rec.* 30 (152), 2015, pp.339–362.

Becker, S., Peter, M., & Fritsch, D. 2015. Grammar-Supported 3d Indoor Reconstruction From Point Clouds For “As-Built” Bim. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-3/W4, pp. 17-24.

Biagini, C., Capone, P., Donato, V., & Facchini, N. 2016. Towards the BIM implementation for historical building restoration sites. *Automation in Construction*, 71, pp. 74-86.

Bianchini, C., Inglese, C., Ippolito, A., Maiorino, D., Senatore, L.J. 2016. Building Information Modeling (BIM): Great Misunderstanding or Potential Opportunities for the Design Disciplines? In Ippolito, A., Cigola, M. *Handbook of Research on Emerging Technologies for Digital Preservation and Information Modeling*. Hershey (PA): IGI Global, pp. 67-90.

Boeykens, S., Bogani, E. 2008. Metadata for 3D models. How to search in 3D modelrepositories? ICERI 2008 Proceedings. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/258241827\\_Metadata\\_for\\_3D\\_Models\\_How\\_to\\_search\\_in\\_3D\\_Model\\_repositories](https://www.researchgate.net/publication/258241827_Metadata_for_3D_Models_How_to_search_in_3D_Model_repositories)

Brusaporci, S., Trizio, I., Ruggieri, G., Maiezza, P., Tata, A., Giannangeli, A. 2018. AHBIM per l'analisi stratigrafica dell'architettura storica. *RESTAURO ARCHEOLOGICO*, vol. 27, pp.112-131.

Brusaporci, S., Maiezza, P., Tata, A. 2018. A framework for architectural heritage hbim semantization and development, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2, pp. 179-184, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-179-2018>, 2018.

- Brusaporci, S., Maiezza, P., 2016. Re-Loading BIM: Between Spatial and Database Information Modeling for Architectural Heritage Documentation. In: AA.VV. *Dibujar, Construir, Sonar. Investigaciones en torno a la expresion grafica aplicada a la edificacion*. Valencia: Tirant Lo Blanch, pp. 835-847.
- Cheng, H. M., Yang, W. B., Yen, Y. N. 2015. BIM applied in historical building documentation and refurbishing. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), pp. 85-90.
- Costa, G., Madrazo, L. 2015. Connecting building component catalogues with BIM models using semantic technologies: an application for precast concrete components. *Autom. Constr.* 57, 2015, pp. 239–248.
- Curry, E., O'Donnell, J., Corry, E., Hasan, S., Keane, M., O'Riain, S. 2013. Linking building data in the cloud: Integrating cross-domain building data using linked data. *Adv. Eng. Informatics* 27 (2), 2013, pp. 206–219.
- De Luca, L., Busayarat, C., Stefani, C., VéRon, P., Florenzano, M. 2011. A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage, *Comput. Graph.* 35 (2), 2011, pp. 227–241.
- Dijkshoorn, C., Van Ossenbruggen, J., Aroyo, L., Schreiber, G. 2014. INVENiT: exploring cultural heritage collections while adding annotations. *Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Exploration of Semantic Data – Volume 1279*, 2014, pp. 95–99.
- Ding, L.Y., Zhong, B.T., Wu, S., Luo, H.B. 2016. Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology, *Saf. Sci.* 87, 2016, pp. 202–213.
- Dore, C., Murphy, M. 2013. Semi-automatic modelling of building facades with shape grammars using historic building information modelling. *ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 40, 5, 2013, pp. 57-64.
- Felicetti, A., Lorenzini, M. 2011. Metadata and tools for integration and preservation of cultural heritage. *3D information, Geoinformatics FCE CTU* 6, 2011, pp. 118–124.
- Fiorani, D. 2017. *Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente – Built Heritage Information Modelling/Management BHIMM*. Galazzano: Edizioni IMReady.
- Fregonese, L., Achille, C., Adami, A., Fassi, F., Spezzoni, A., & Taffurelli, L. 2015. BIM: An integrated model for planned and preventive maintenance of architectural heritage. *Digital Heritage*, 2015, Vol. 2, pp. 77-80.

Garagnani, S., Gaucci, A., Govi, E. 2016. Archaeobim: dallo scavo al Building Information Modeling di una struttura sepolta. Il caso del tempio tuscanico di Uni a Marzabotto. *Archeologia e Calcolatori*, 27, 2016, pp. 251-270.

Garagnani, S., Manferdini, A.M. 2013. Parametric accuracy: Building Information Modeling process applied to the cultural heritage preservation, 3DArch2013, Conference Proceedings of The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2013, pp.87-92.

Garcia-Fernandez, J., Anssi, J., Ahn, Y., Fernandez, J.J. 2016. Quantitative + qualitative information for heritage conservation: an open science research for paving 'col-laboratively' the way to historical-BIM. In Digital Heritage International Congress, Digital Heritage 2015, pp. 207-208.

Hong, S., Jung, J., Kim, S., Cho, H., Lee, J. and Heo, J. (2015) 'Semi-automated approach to indoor mapping for 3D as-built building information modeling', *Computers, Environment and Urban Systems*, 959 51, pp. 34-46.

Karan, E.P., Irizarry, J. 2015. Extending BIM interoperability to preconstruction operations using geospatial analyses and semantic web services, *Autom. Constr.* 53, 2015, pp. 1-12.

Khodeir, L.M., Aly, D., Tarek, S. 2016. Integrating HBIM (Heritage Building Information Modeling) tools in the application of sustainable retrofitting of heritage buildings in Egypt. *Procedia Environ. Sci.* 34, 2016, pp. 258-270.

Jung, J., Hong, S., Jeong, S., Kim, S., Cho, H., Hong, S. and Heo, J. 2014. Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures. *Automation in Construction*, 42 (0), pp. 68-77. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.021>.

Lee, D.-Y., Chi, H., Wang, J., Wang, X., Park, C.-S. 2016. A linked data system framework for sharing construction defect information using ontologies and BIM environments. *Autom. Constr.* 68, 2016, pp.102-113.

Logothetis, S., Karachaliou, E., & Stylianidis, E. 2017. From OSS CAD to BIM for cultural heritage digital representation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, 1-3, pp 439-445.

Logothetis, S., Delinasiou, A., Stylianidis, E. 2015. Building information modelling for cultural heritage: a review, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci* 2 5, 2015, pp. 177-183.

Lopez, F. J., Lerones, P. M., Llamas, J., Gomez-Garcia-Bermejo, J., & Zalama, E. (2017). A Framework for Using Point Cloud Data of Heritage Buildings Toward Geometry Modeling in A BIM Context: A Case Study on Santa Maria La Real De Mave Church. *International Journal of Architectural Heritage*, 11(7), 1079, pp. 965-986.

- Liu, Y. 2016. Robust segmentation of raw point clouds into consistent surfaces, *SCIENCE CHINA Technol. Sci.* 59, m2016, pp. 1156–1166. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1007/s11431-016-6072-8>.
- Ma, Y. P., Hsu, C. C., Lin, M. C., Tsai, Z. W., & Chen, J. Y. 2015. Parametric Workflow (BIM) for the Repair Construction of Traditional Historic Architecture in Taiwan. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), pp. 315-322.
- Meyer, É., Grussenmeyer, P., Perrin, J.-P., Durand, A., Drap, P. 2007. A web informationsystem for the management and the dissemination of Cultural Heritage data *J.Cult. Herit.* 8, 4,2007, pp. 396–411.
- Mingucci, R. 2008. La comunicazione del progetto nell'era digitale. In *DISEGNARECON* 1(1), pp. 5-19.
- Morbidoni, C., Piccioli, A. 2015. Curating a document collection via Crowdsourcingwith Pundit 2.0. *The Semantic Web: ESWC 2015 Satellite Events: ESWC 2015Satellite Events*. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 102–106.
- Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S. 2013. Historic building informationmodelling—Adding intelligence to laser and image based surveys of Euro-pean classical architecture, *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 76, 2013, pp. 89–102.
- Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S. 2009. Historic building information modelling (HBIM), *Struct. Surv.* 27 (4), 2009, pp. 311–327.
- Nieto, J. E., Moyano, J. J., Delgado, F. R., Garcia, D. A. 2016. Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling. In *Virtual Archaeology Review*, Vol. 7, No. 14, pp. 1-12.
- Oreni, D., Brumana, R., Della Torre, S., Banfi, F., & Previtali, M. 2014. Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5), 2014, pp. 97-104.
- Oreni, D., Brumana, R., Banfi, F., Bertola, L., Barazzetti, L., Cuca, B., Roncoroni, F. 2014. Beyond Crude 3D Models: From Point Clouds to Historical Building Information Modeling via NURBS. In *EuroMed*, pp. 166-175.
- Oreni, D., Brumana, R., Georgopoulos, A., Cuca, B. 2013. HBIM for conservation and management of built heritage: Towards a library of vaults and wooden bean floors. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 5, W1, 2013, pp. 215-221.

Osello, A., Davardoust, S., Semeraro, F., Lucibello, G., Barone, L., Dellosta, M., Ronzino, A., Del Giudice, M., Fonsati, A., De Luca, D., Ugliotti, F. M., Rapetti, N., 2016. La centralità della Rappresentazione con il BIM /. - DISEGNARE CON 9, 2016, pp. 5.1-5.12.

Osello A., Dalmasso D., Del Giudice, M., Erba, D., Ugliotti, F.M., Patti, E., Davardoust, S. 2013. [Information interoperability and interdisciplinarity: the BIM approach from SEEMPubS project to DIMMER project](#). Territorio Italia, pp 9-22.

Pauwels, P., Terkaj, W., 2016. EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology. Autom. Constr. 63, 2016, pp. 100–133. Retrieved from: <http://www.ontospace.uni-bremen.de/ontology/modSpace/BuildingArchitecture.owl>

Pauwels, P., Verstraeten, R., De Meyer, R., Van Campenhout, J. 2008. Architectural information modelling for virtual heritage application. International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM), 2008, pp. 18–23.

Quagliarini, E., Clini, P., Ripanti, M. 2016. Fast, low cost and safe methodology for the assessment of the state of conservation of historical buildings from 3D laserscanning: the case study of Santa Maria in Portonovo (Italy). Journal of Cultural Heritage, 2016, pp. 64-78.

Quattrini, R., Pierdicca, R., Morbidoni, C. 2017. Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high quality models using the semantic-web. Journal of Cultural Heritage 28, 2017, pp. 129–139.

Quattrini, R., Malinverni, E. S., Clini, P., Nespeca, R., & Orlietti, E. 2015. From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(5), pp. 367-374.

Quattrini, R., Malinverni, E.S., Clini, P., Nespeca, R., Orlietti, E. 2015. From tls to hbim high quality semantically-aware 3d modeling of complex architecture. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives, vol. 40, no. 5W4, 2015, pp.367-374.

Rechichi, F., Mandelli, A., Achille, C., Fassi, F. 2016. Sharing high-resolution models and information on web: the web module of bim3dsg system. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B5, 2016, pp. 703-710.

Rodriguez-Moreno, C., Reinoso-Gordo, J. F., Rivas-Lopez, E., Gomez-Blanco, A., Ariza-Lopez, F. J., Ariza-Lopez, I. 2016. From point cloud to BIM: an integrated workflow for documentation, research and modelling of architectural heritage. Survey Review, pp. 1-20.

- Rua, H., Gil, A. 2014. Automation in heritage—Parametric and associative design strategies to model inaccessible monuments: The case-study of eighteenth-century Lisbon Aguas Livres Aqueduct. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 1(3), 2014, pp. 82-91.
- Santagati, C., Lo Turco, M. 2017. From structure from motion to historical building information modeling: populating a semantic-aware library of architectural elements, *J. Electron. Imaging* 26 (1), 2017, pp. 1-12.
- Scianna, A., Serlorenzi, M., Gristina, S., Filippi, M., Paliaga S. 2015. Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della chiesa dei SS. Sergio e Bacco in Roma. *Archeologia e Calcolatori*, 7, 2015, pp. 199-212.
- Semeraro, F., Osello, A., Rapetti, N. 2017. Un approccio basato sul BIM per la gestione e manutenzione del patrimonio edilizio - A BIM-based approach for building stock maintenance and management. *Dn*, 1, 1, 2017, pp. 88-99.
- Simeone, D., Cursi, S. 2016. The role of semantic enrichment in Building Information Modelling. *TEMA: Technologies Engineering Materials Architecture*, Vol. 2, No. 2, 2016, pp. 22-30.
- Simeone, D., Cursi, S., Toldo, I., Carrara, G. 2014. B(H)IM-built heritage information modelling-extending BIM approach to historical and archaeological heritage representation. *Fusion-Proceedings of the 32nd eCAADe Conference*, vol. 1, 2014, pp. 613–622.
- Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F. 2014. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs, *Autom. Constr.* 38, 2014, pp. 109–127.
- Wang, C., Cho, Y. K. and Kim, C. 2015. Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications. *Automation in Construction*, 56, pp. 1-13. Retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.001>
- Zheliazkova, M., Naboni, R., Paoletti, I. 2015. A parametric-assisted method for 3D generation of as-built BIM models for the built heritage. *WIT Transactions on The Built Environment*, 153, pp. 693-704.

### **Rilevamento ed elaborazione di modelli ottenuti da acquisizione massiva**

Bernardini, F., Rushmeier, H. 2002. The 3D Model Acquisition Pipeline. Computer Graphics Forum. Manchester: NCC Blackwell, 2002, vol. 21 (2), 2002, pp. 149-172. Retrieved from: <http://128.59.11.212/~allen/PHOTOPAPERS/pipeline.paper.pdf> [maggio 2016].

Blais, F. 2004. A review of 20 years of range sensor development. *Journal of Electronic Imaging*, 13 (1), 2004, pp. 231-243. Retrieved from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.90.7061&rep=rep1&type=pdf> [ottobre 2018].

Borgogni, F., Ippolito, A. 2011. I modelli 3D nei rilievi di architettura. In Chiavoni, E., Filippa, M. (a cura di). *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*. Ricerca Prin 2007, coordinatore nazionale Mario Docci. Roma: Gangemi Editore, 2011, pp. 71-78.

Brusaporci, S. 2015. The Representation of Architectural Heritage in the Digital Age. In: Mehdi Khosrow-Pour (a cura di) *Encyclopedia of Information Science and Technology, Third Edition*. Hershey PA: IGI Global, 2015, pp. 4195-4205.

Centofanti, M., Brusaporci, S., Lucchese Igo. 2014. Architectural Heritage and 3D Models. In: Di Giamberardino P, Iacoviello D, Natal Jorge R, R. S. Tavares JM (a cura di) *Computational Modeling of Objects Presented in Images*. Geneva: Springer, 2014, pp. 31-49.

Dana, K.J., Van Ginneken, B., Nayar, S. K., Koenderink, J. J. 1999. Reflectance and texture of real-world surfaces. *ACM Transactions on Graphics*, vol. 18 (1), 1999, pp. 1-34. Retrieved from: [http://www1.cs.columbia.edu/CAVE/publications/pdfs/Dana\\_TOG99.pdf](http://www1.cs.columbia.edu/CAVE/publications/pdfs/Dana_TOG99.pdf) [ottobre 2018].

Fantini, F. 2011. La modellazione in displaced sub-D, modelli a dettaglio variabile da scansione laser. In Verdiani, G. (a cura di). *Il ritorno all'immagine, nuove procedure image based per il Cultural Heritage*. Lulu.com, 2011, pp. 37-72. Retrieved from: [http://www.academia.edu/1509213/La\\_modellazione\\_in\\_Displaced\\_sub-D\\_modelli\\_a\\_dettaglio\\_variabile\\_da\\_scansione\\_laser](http://www.academia.edu/1509213/La_modellazione_in_Displaced_sub-D_modelli_a_dettaglio_variabile_da_scansione_laser) [ottobre 2018].

Gaiani, M. 2001. Traduzioni dal reale al virtuale in architettura - Un metodo integrato di acquisizione dati e costruzione di modelli digitali tridimensionali. In Migliari, R. (a cura di) *Frontiere del rilievo: dalla matita allo scanner 3D*. Roma: Gangemi Editore, pp. 71-85.

Ippolito, A. 2007. Dalla nuvola di punti alla superficie. Analisi e problematiche. In Chiavoni, E., Paolini, P. (a cura di) *Metodi e tecniche integrate di rilevamento per la costruzione e fruizione di modelli virtuali 3D dell'architettura e della città*. Ricerca Cofin 2004, coordinatore nazionale Mario Docci. Roma: Gangemi Editore, pp. 32-43

Vrubel, A., Bellon, O. R. P., Silva, L. 2009. A 3D reconstruction pipeline for digital preservation. In Proceedings of IEEE Conference on CVPR, 2009, pp. 2687-2694. Retrieved from: [http://www.matmidia.mat.puc-rio.br/sibgrapi2009/media/theses\\_and\\_dissertations/58994.pdf](http://www.matmidia.mat.puc-rio.br/sibgrapi2009/media/theses_and_dissertations/58994.pdf) [ottobre 2018].

Tchou, C. D. 2002. Image-Based Models: Geometry and Reflectance Acquisition Systems, Master's Thesis. UC Berkeley, 2002. Retrieved from: <http://gl.ict.usc.edu/Research/3DScanning/Tchou-Thesis-2002.pdf> [ottobre 2018].

### **Modelli semantici e ontologie**

Apollonio, F.I., Gaiani, M., Corsi, C. 2010. A semantic and parametric method for 3D models used in 3D cognitive-information system. Future cities. 28th eCAADe 2010 Conference, ZURICH, ECAADE – ETH Zurich, 2010, pp. 717–726.

Apollonio, F. I., Gaiani, M., Baldissini, S. 2010. Architectural 3D modelling for a 3D GIS web-based system. VAST 2010. 11th International symposium on virtual reality, archaeology and cultural heritage proceedings, GOSLAR, Eurographics Association, 2010, pp. 83 –86.

Beetz, J., Van Leeuwen, J.P., De Vries, B. 2005. An ontology web language notation of the industry foundation classes. 22nd CIB W78 Conference on Information Technology in Construction, CIB-W78, pp. 193-198.

Di Bella, A., Guarino, N. 2006. *Le ontologie formali e il loro ruolo nell'ICT*. Retrieved from: <http://www.nonaka.eu/public/pdf/ontologie-ict.pdf> [ottobre 2018].

Fallavollita, F., Ballabeni, M., Foschi, R., Perugini, G. 2015. Semantic description of three-dimensional models of Bologna porches. SCientific RESearch and Information Technology Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione. Vol 5, Issue 1 (2015), pp. 31-40.

Felicori, M., Gaiani, M., Guidazzoli, A., Liguori, M.C. 2009. Framework OS per la comunicazione storica e archeologica. *Archeologia EeCalcolatori*», 2, 2009, pp. 195 – 208

Floridi, L. 2002. What is the Philosophy of Information? *Metaphilosophy*, 33 (1/2) Retrieved from: <http://www.blackwellpublishing.com/pci/downloads/introduction.pdf> [ottobre 2018].

Fonseca, F., Martin, J. 2005. Toward an Alternative Notion of Information System Ontologies: Information Engineering as a Hermeneutic Enterprise. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 56, 1, 2005, pp. 46-57.

Gaiani, M., Benedetti, B., Apollonio, F. I. 2011. Teorie per rappresentare e comunicare i siti archeologici attraverso modelli critici. *SCIRES-IT SCientific RESearch and Information Technology Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione*. Vol 1, Issue 2 (2011), pp. 33-70.

Gaiani, M., Benedetti, B., Apollonio, F. I. 2009. Standard di acquisizione e strutturazione di modelli digitali per sistemi informativi di aree archeologiche: il caso di Pompei. *Disegnare Idee Immagini* 39, 2009, pp. 60 – 73.

Gaiani M., Gamberini E., Tonelli G., Bonfigli M. E., Calori L., Guidazzoli A., Brunelli D., Farella E., Benini L., Riccò B. 2007. Realtà Virtuale come strumento di lavoro per il restauro Architettonico e Archeologico: il 3D Virtual GIS “La Via Appia antica”. *Atti della giornata di studi internazionale UT NATURA ARS. Virtual Reality e archeologia. Studi e Scavi* 22, 2007, pp. 107-114.

Gambarara, D. 2008. Thesauri, mappe semantiche, Ontologie. Problemi semantici e costruzioni concettuali. In R. Guarasci *Dal documento all'informazione*. Milano: Iter, pp. 249-276.

Gruber, T. 1995. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. *International Journal of Human-Computer Studies* 43 (5-6), 1995, pp. 907-928. Retrieved from: <http://tomgruber.org/writing/ontology-design.htm> [ottobre 2018].

Manferdini, A. M., Remondino, F., Baldissini, S., Gaiani, M., Benedetti, B. 2008. 3D Modeling and Semantic Classification of Archaeological Finds for Management and Visualization in 3D Archaeological Databases. *Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, pp. 221 - 228

Messaoudia, Véron, P., Halin, G., De Luca, L. 2018. An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state. *Journal of Cultural Heritage* 29, 2018, pp. 100–112.

Poli, R. 1992. *Ontologia formale*. Genova: Marietti.

Simeone, D., Cursi, S., Toldo, I., Carrara, G. 2014. BIM and knowledge management for building heritage. *ACADIA 14: Design Agency - Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, pp. 681-390.

Smith, B. 2006. *Ontologie e sistemi informativi*. Retrieved from: <http://lgxserve.ciseca.uniba.it/lei/ai/networks/06/Barrysmith.pdf> [ottobre 2018].

Ugo, V. 1994. *Fondamenti della rappresentazione architettonica*. Bologna: Esculapio.

Valore, P. 2006. *Topics on General and Formal Ontology*. Monza-Milano: Polimetrica.

Yongwook, J. 2008. *Mediating semantics for multidisciplinary collaborative design*. Ph.D. dissertation, Berkeley University of California.

### **Trasparenza, scientificità e attendibilità dei dati**

Bianchini, C. 2016. Beyond communication: 3D heuristic models in architectural research Al di là della comunicazione: modelli 3D euristicinello studio dell'Architettura. In Marco Bini, Stefano Bertocci (a cura di) *Le ragioni del Disegno / The reasons of Drawing*. Atti del XXXVIII Convegno internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione - XIII Congresso della Unione Italiana del Disegno, Firenze 15,16, 17 settembre 2016. Roma: Gangemi Editore, pp. 115-130.

Bentkowska-Kafel, A., Denard, H., Baker, D. (eds), 2012. *Paradata and Transparency in Virtual Heritage*. Farnham: Ashgate Publishing.

Brusaporci, S. 2017. *Digital Innovations in Architectural Heritage Conservation: Emerging Research and Opportunities*. Hershey, PA: IGI Global.

Brusaporci, S. 2017. The importance of being honest: issue of transparency in digital visualization of architectural heritage. In Alfonso Ippolito (ed.) *Handbook of research on emerging technologies for architectural and archaeological heritage*, pp. 66-93. Hershey, PA: IGI Global.

Wright, W., Sheffield, D., Santosa, S. 2017. Argument Mapper: Countering Cognitive Biases in Analysis with Critical (Visual) Thinking. In 17 Intl Conference on Information Visualization 2017, pp. 250-255.

Gabellone, F. 2012. La trasparenza scientifica in archeologia virtuale. Commenti al Principio N.7 della Carta di Siviglia. *SCIRES-IT SCientific RESearch and Information Technology Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione Vol 2, Issue 2 (2012)*, pp. 99-124.

Greengrass, M., Hughes, L. (a cura di.) 2008. *The Virtual Representation of the Past*. Farnham: Ashgate Publishing.

Huvila, I. 2012. The Unbearable Complexity of Documenting Intellectual Processes: Paradata and Virtual Cultural Heritage Visualisation. *Human IT*, vol. 12, pp. 97-110.

Ippolito, A., Attenni, M. 2016. ἐκφρασις (ekphrasis): un problema di rappresentazione. In Bini, M., Bertocci, S. (a cura di) *Le ragioni del Disegno / The reasons of Drawing*. Atti del XXXVIII Convegno internazionale dei Docenti

delle Discipline della Rappresentazione - XIII Congresso della Unione Italiana del Disegno, Firenze 15,16, 17 settembre 2016. Roma: Gangemi Editore, pp. 395-402.

London Charter, 2009. Retrieved from: <http://www.londoncharter.org/> [ottobre 2018].

Nagel, C., Stadler, A., Kolbe, T.H. 2009. Conceptual Requirements for The Automatic Reconstruction Of Building Information Models From Uninterpreted 3d Models. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science - Volume XXXVIII-3-4/C3 2009*, 157-165.

### **Istituto di Botanica**

Azzaro, B. 2012. *La Città Universitaria della Sapienza di Roma e le sedi esterne 1907-1932*. Roma: Gangemi.

Bonavita, A., Greco, A., Remiddi, G. 2000. *Il moderno attraverso Roma - 200 architetture scelte*. Roma: Fratelli Palombi.

Clementi, A. 1974. Razionalismo e Novecento nell'opera di Giuseppe Capponi. *Rassegna dell'Istituto di Architettura e di Urbanistica*, n.29-30, pp. 6-26.

Dal Falco, F. 2002. *Stili del razionalismo: Anatomia di quattordici opere di architettura*. Roma: Gangemi

Franchetti Pardo, V. 2013. *L'architettura nelle città italiane del XX secolo: dagli anni Venti agli anni Ottanta*. Milano: Jaca Book Editore.

Guidi, F. 1935. Caratteristiche tecniche e organizzazione esecutiva delle opere nella Città Universitaria. *Casa dell'Architettura di Latina*, 1935 – XIV numero speciale. *La Città Universitaria di Roma*, pp. 81-100.

Mitrano, I. 2013. Giuseppe Capponi: l'Istituto di Botanica e Chimica Farmaceutica, un esempio di architettura razionale nella Città Universitaria. In *Sapienza razionalista. L'architettura degli anni '30 nella Città Universitaria, Roma*. Roma: Nuova Cultura, pp. 33-45.

Muntoni, A. 2010. *Roma tra le due guerre 1919-1944*. Roma: Edizioni Kappa.

Rossi, P.O. 2012. *Roma. Guida all'architettura moderna (1909-2011)*. Roma-Bari: Laterza.

## **Tempio del divo Claudio**

Ball Platner, S. 1929. *A topographical dictionary of ancient Rome. Art. Temple of Claudius*. London: Oxford University Press.

Coarelli, F. 1984. *Guida archeologica di Roma*. Verona: Arnoldo Mondadori Editore.

Il Tempio del divo Claudio. Forma Urbis. Itinerari nascosti di Roma Antica. Supplemento al n.2/1999.

Ippolito, A. 2009. La modellazione delle superfici murarie del Tempio del Divo Claudio a Roma. *Disegnare Idee Immagini*, 38, 2009, pp. 76-85.

Ippolito, A., Attenni, M. 2015. Measurements, geometries and proportions in roman archaeological architecture. *Metrology for Archaeology Proceedings Vol.1*, pp. 95-100.

Lawrence Richardson, Jr., s.v. Claudius, Divus, Templum, in *A New Topographical Dictionary of Ancient Rome*, Baltimore, JHU, pp. 87–88. Retrieved from: <https://www.scribd.com/document/342309797/L-Richardson-Jr-editor-A-New-Topographical-Dictionary-of-Ancient-Rome-Johns-Hopkins-University-Press-1992-pdf> [ottobre 2018].

Melchiorri, G. 1834. *Guida metodica di Roma e suoi contorni*, Roma 1834, p. 721. Retrieved from: <https://archive.org/details/descrizione00pistgoog/page/n31> [ottobre 2018].





Architetto e dottoranda in Storia, Disegno e Restauro dell'architettura presso la Facoltà di Architettura della Sapienza Università di Roma.

Si interessa alle metodologie integrate di rilevamento per la conoscenza e la documentazione dei beni culturali, con particolare attenzione al campo dell'architettura e dell'archeologia. Ha sviluppato abilità nell'utilizzo di sistemi per l'acquisizione di dati tramite metodologie per il rilevamento non a contatto, la visualizzazione e la gestione di nuvole di punti, e l'elaborazione di modelli integrati 3D/2D. Nell'ambito del dottorato sviluppa una ricerca riguardante i processi BIM/HBIM per la conoscenza e la gestione del patrimonio architettonico, e le loro implicazioni nel campo del rilievo e della rappresentazione. Partecipa a convegni, seminari e workshop nazionali e internazionali sulle metodologie integrate per l'acquisizione massiva e l'elaborazione di dati e modelli tridimensionali.

Collabora alle attività didattiche dei corsi di Scienza della Rappresentazione I, II, III e Rilievo dell'Architettura.

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

Dottorato in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura

*Coordinatore prof.ssa Donatella Fiorani*

Sezione B - Disegno dell'Architettura

*Responsabile prof.ssa Laura Carnevali*

*Sede*

Piazza Borghese, 9

00186 Roma

[http://www.dsdra.it/drupaluni/didattica\\_/dottorato\\_sdra](http://www.dsdra.it/drupaluni/didattica_/dottorato_sdra)

Scuola Nazionale di Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo

*Sede centrale di coordinamento*

Università degli Studi di Roma

*Direttore*

prof.ssa Laura Carnevali