



Giorgia Potestà

estratto del curriculum

Nasce a Roma il 4 Marzo 1991. Diplomata presso il Liceo Classico “Lucio A. Seneca” di Roma, si iscrive alla Facoltà di Architettura presso l’Università “Sapienza” di Roma dove si laurea con lode, prima nel 2013 con una tesi incentrata sulle analisi propedeutiche all’intervento di conservazione della chiesa dei S.S. Nereo e Achilleo alle Terme di Caracalla, poi nel 2016 con una tesi riguardante la documentazione, il rilievo e la ricostruzione tridimensionale del complesso teatro-tempio nel Santuario Italico di Pietrabbondante. Dopo la laurea consegue a pieni voti il Master di II livello “Architettura per l’Archeologia”, presso la stessa Facoltà, con una tesi progettuale sulla sistemazione archeologica del Parco di Villa dei Gordiani a Roma. Durante il Master collabora con studi d’architettura d’interni, di rilievo e con Anas S.p.A. riguardo progetti di valorizzazione di aree archeologiche ricadenti vicino nuove opere infrastrutturali ed interventi di manutenzione programmata. Dal 2018 è Dottoranda in Storia, Disegno e Restauro dell’Architettura: si interessa alle metodologie integrate di rilevamento per la conoscenza e documentazione del patrimonio storico architettonico e archeologico, e sviluppa abilità nell’utilizzo di sistemi per l’acquisizione dati, la gestione di nuvole di punti e la rappresentazione di modelli integrati 2D e 3D. Nell’ambito del Dottorato ha sviluppato una ricerca sulle metodologie di applicazione del BIM al patrimonio storico costruito e collaborato con la UCSD (University of California San Diego) su questo tema. Partecipa a convegni e workshop nazionali ed internazionali sulle metodologie integrate per il rilevamento e la modellazione 3D dell’architettura. Collabora alle attività didattiche dei corsi di Scienza della Rappresentazione 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 Emanuela Chiavoni

Sezione B - Disegno dell’Architettura
Responsabile prof.ssa Elena Ippoliti
Sede

Piazza Borghese, 9
00186 Roma
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 Elena Ippoliti

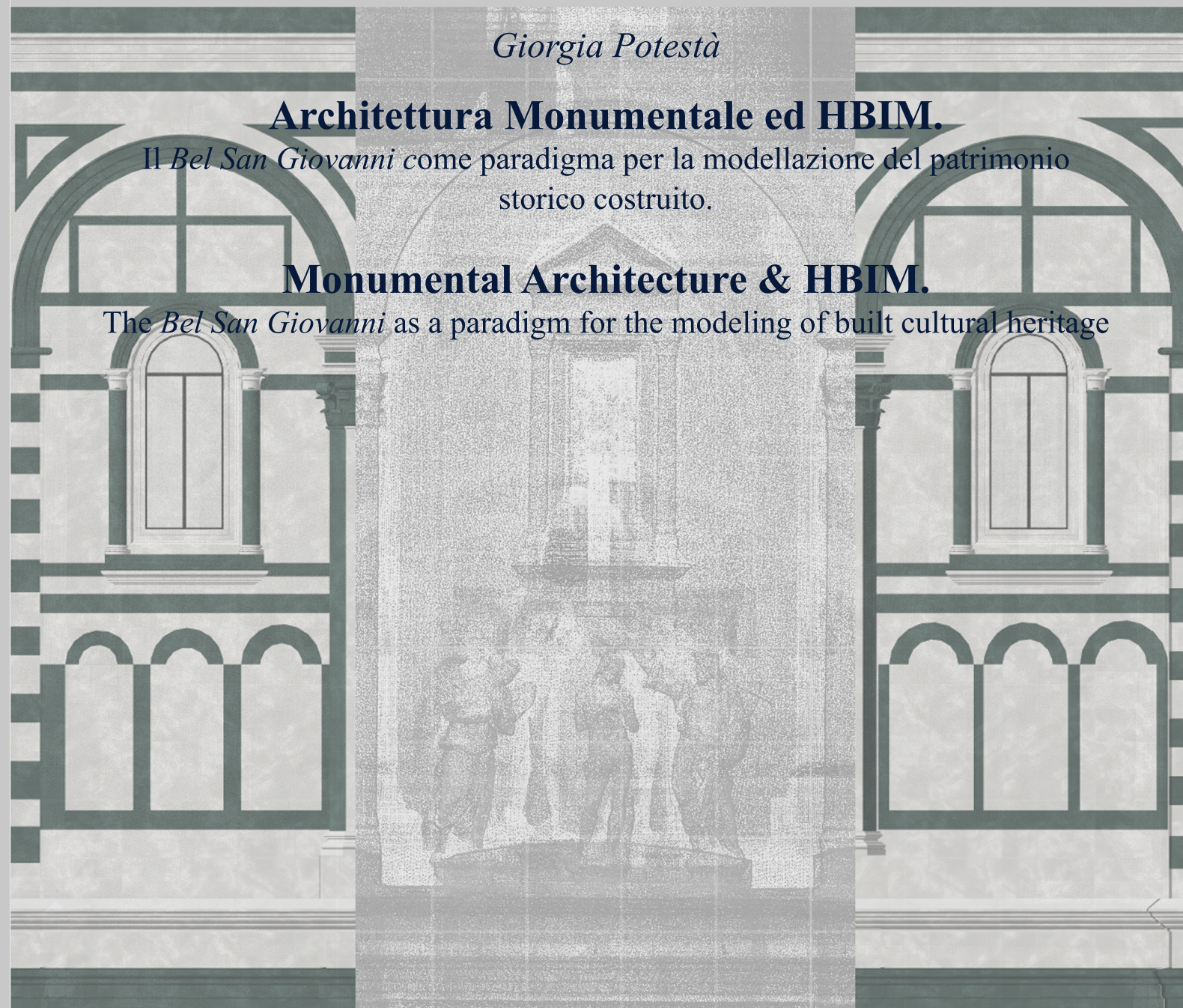


Scuola Nazionale di Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo

Giorgia Potestà

Il Bel San Giovanni come paradigma per la modellazione del patrimonio storico costruito.

Architettura Monumentale ed HBIM.



Giorgia Potestà

Architettura Monumentale ed HBIM.

Il Bel San Giovanni come paradigma per la modellazione del patrimonio storico costruito.

Monumental Architecture & HBIM.

The Bel San Giovanni as a paradigm for the modeling of built cultural heritage

Tesi di Dottorato di Ricerca - Ciclo XXXIII - 2017-2020

Abstract

Virtual 3D modeling of any artifact involves the organized composition of digital elements. This process is common to any 3D modeling workflow but, when applied to BIM systems, it shows a good match in construction processes between the virtual and the real world. Each building, in fact, can be considered as a coordinated set of simple technological elements, linked together by design logic and construction techniques; thus also the existing buildings can be "unstructured" in recurring elements, especially if the architectural survey operations reveal the regularity of some geometric patterns.

The research investigates the possibility of defining a precise application methodology of Building Information Modeling to the historical built heritage, reflecting on the potential and problems that the process can have in this specific field of application. The HBIM approach starts from an integrated survey, according to the so-called scan-to-BIM techniques, which allow the import of the point cloud into the parametric modeling software. A crucial step in the modeling of the ancient is the definition of a methodological process based on the identification of architectural elements and a careful planning of their transposition into parametric objects; the semantic structuring of the compositional elements represents the interpretative step that the operator is called to perform. In this framework, the study presents the application of these reflections to the Baptistery of San Giovanni in Florence, which becomes the case study. Through the modeling of the monument, relevant from a historical point of view and for its particular stylistic and geometric characteristics, the research focuses on the definition of a valid and coherent strategy for the implementation of HBIM systems, on technical and terminological specifications, on potential, criticalities and objectives of parametric models for historical buildings.

In copertina elaborazione grafica a cura dell'autore del processo Scan to BIM del Battistero di San Giovanni a Firenze, caso studio della ricerca.



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell’Architettura

Dottorato in Storia, Disegno e Restauro dell’Architettura

Sezione B - Disegno dell’Architettura - settore scientifico disciplinare ICAR 17

Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura
Dottorato in Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura - Sezione B - Disegno dell'Architettura- SSD ICAR/17

Tesi di Dottorato di Ricerca - Ciclo XXXIII - ottobre 2020

Dott. Giorgia Potestà

Architettura Monumentale ed HBIM.

Il Bel San Giovanni come paradigma per la modellazione del patrimonio storico costruito.

Monumental Architecture & HBIM.

The Bel San Giovanni as a paradigm for the modeling of built cultural heritage.



Scuola Nazionale di Dottorato in Scienze della Rappresentazione e del Rilievo



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

Coordinatore prof.ssa Emanuela Chiavoni

Sezione B - Disegno dell'Architettura

Responsabile prof.ssa Elena Ippoliti

Collegio del Dottorato, XXXIII ciclo, 2017/2018-2019/2020

ICAR/17 - Disegno

Leonardo BAGLIONI, Carlo BIANCHINI, Anna Laura CARLEVARIS, Laura
CARNEVALI, Marco CARPICECI, Andrea CASALE, Emanuela CHIAVONI, Marco
FASOLO, Carlo INGLESE, Maria MARTONE, 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 Emanuela Chiavoni

Dottorando

Giorgia Potestà

Responsabile Sezione B - Disegno dell'Architettura

prof.ssa Elena Ippoliti

Tutor

Carlo Bianchini

Co-Tutor

Dominique Rissolo

Abstract della ricerca

La modellazione virtuale 3D di qualsiasi artefatto implica la composizione organizzata di elementi digitali. Questo processo è comune a qualsiasi processo di modellazione 3D ma, applicato ai sistemi BIM, mostra una buona corrispondenza nei processi di costruzione tra il mondo virtuale e quello reale. Ogni edificio, infatti, può essere considerato come un insieme coordinato di semplici elementi tecnologici, collegati tra loro da logiche progettuali e tecniche costruttive; così anche gli edifici esistenti possono essere destrutturati in elementi ricorrenti, soprattutto se le operazioni di rilievo architettonico rivelano la regolarità di alcuni schemi geometrici.

La ricerca indaga la possibilità di definire una precisa metodologia applicativa del Building Information Modeling al patrimonio costruito storico, riflettendo sulle potenzialità e sulle problematiche che il processo può avere in questo specifico campo di applicazione. L'approccio HBIM muove da un rilievo integrato, secondo le cosiddette tecniche scan-to-BIM, che consentono l'importazione della nuvola di punti all'interno del software di modellazione parametrica. Fase cruciale nella modellazione dell'antico è la definizione di un processo metodologico basato sull'individuazione degli elementi architettonici e un'attenta pianificazione della loro trasposizione in oggetti parametrici; la strutturazione semantica degli elementi compositivi rappresenta il passaggio interpretativo che l'operatore è chiamato a compiere.

In questo quadro, lo studio presenta l'applicazione di queste riflessioni al Battistero di San Giovanni a Firenze, che diviene il caso studio. Attraverso la modellazione del monumento, rilevante dal punto di vista storico e per le sue particolari caratteristiche stilistiche e geometriche, la ricerca si concentra sulla definizione di una strategia valida e coerente per l'implementazione dei sistemi HBIM, sulle specifiche tecniche e terminologiche, su potenzialità, criticità e obiettivi dei modelli parametrici per il costruito storico.

Parole chiave: Building Information Modeling; Patrimonio storico costruito; Modellazione 3D; Battistero; Firenze.

Virtual 3D modeling of any artifact involves the organized composition of digital elements. This process is common to any 3D modeling workflow but, when applied to BIM systems, it shows a good match in construction processes between the virtual and the real world. Each building, in fact, can be considered as a coordinated set of simple technological elements, linked together by design logic and construction techniques; thus also the existing buildings can be "unstructured" in recurring elements, especially if the architectural survey operations reveal the regularity of some geometric patterns.

The research investigates the possibility of defining a precise application methodology of Building Information Modeling to the historical built heritage, reflecting on the potential and problems that the process can have in this specific field of application. The HBIM approach starts from an integrated survey, according to the so-called scan-to-BIM techniques, which allow the import of the point cloud into the parametric modeling software. A crucial step in the modeling of the ancient is the definition of a methodological process based on the identification of architectural elements and a careful planning of their transposition into parametric objects; the semantic structuring of the compositional elements represents the interpretative step that the operator is called to perform.

In this framework, the study presents the application of these reflections to the Baptistery of San Giovanni in Florence, which becomes the case study. Through the modeling of the monument, relevant from a historical point of view and for its particular stylistic and geometric characteristics, the research focuses on the definition of a valid and coherent strategy for the implementation of HBIM systems, on technical and terminological specifications, on potential, criticalities and objectives of parametric models for historical buildings.

Key words: Building Information Modeling; Cultural Heritage; 3D Modeling; Battistero; Florence.

Desidero ringraziare

*Carlo Bianchini, per essere stato una guida in questi ultimi cinque anni,
per avermi saputo consigliare nella vita e nello studio, per avermi proposto interessanti sfide
e aver avuto sempre cinque minuti di tempo per me nonostante i numerosi impegni;*

*Dominique Rissolo, per l'eccezionale esperienza presso la UCSD,
per il fondamentale contributo alla tesi e per avermi fatto sentire a casa anche oltre oceano;*

i colleghi di Dottorato, per aver condiviso con me risate ed ansie;

la mia famiglia, per il sostegno nelle scelte in questi molti anni di studio;

mia nonna, che ha sempre voluto studiare e che mi ha ripetuto molte volte "ma quando finisci?"

Infine ringrazio Daniele, per aver sempre condiviso e sostenuto con amore i miei progetti.

A mia nonna Antonia

Indice

Introduzione	010		
1. Heritage BIM: considerazioni generali sulla modellazione del patrimonio storico costruito	012		
1.1 Dal rilievo all'HBIM: stato dell'arte.	013		
1.1.2 Dal rilievo all'HBIM: un approccio per fasi	014		
1.2 Le normative sul BIM: chiarimenti sul Level of Development	017		
1.2.1 Level of Development & Level of Detail	020		
1.2.2 Il Level of Detail: strutturazione su livelli	020		
1.3 BIM e Livelli tematici	021		
1.4 La questione interoperabilità	023		
2. Il Battistero di San Giovanni a Firenze: la documentazione di un complesso monumentale	032		
2.1 La piazza del San Giovanni e le sue coordinate storiche	033		
2.2 Il Battistero di San Giovanni: la struttura	033		
2.2.1 Dai rilievi alle ipotesi storico-costruttive	036		
2.2.2 Storiografia ed evoluzione edilizia	038		
2.3 Rilevamento architettonico e acquisizioni	042		
2.3.1 Le acquisizioni da laser scanner	043		
2.3.2 Le altre acquisizioni non distruttive: SfM, immagini termografiche, GPR	048		
2.3.3 Gestione della nuvola di punti e relazione tra modello e dati acquisiti	049		
3. La meccanica del processo: scomporre e ricostruire	055		
3.1 Scomposizione semantica	060		
3.2 Ricostruzione	061		
3.2.1 Le tipologie di famiglia utilizzate	063		
3.2.2 Modellazione degli attributi geometrici LOG	063		
3.2.2.A Elementi costruttivi: famiglie di sistema e locali	065		
		3.2.2.B Elementi funzionali: famiglie caricabili e famiglie locali	072
		3.2.2.B.1 La modellazione parametrica dell'entasi	072
		3.2.2.C Elementi decorativi: modellazione esterna	076
		3.3 La modellazione parametrica e i Trattati: analogia interpretativa sulla rappresentazione dell'architettura	078
		3.2.3 Applicazione degli attributi informativi LOI	079
		3.2.3.A Database dei materiali	079
		3.2.3.B La gestione delle fasi	081
		3.4 Il Battistero e i suoi livelli tematici	082
		3.5 Definizione ontologica del Battistero: abaco degli elementi modellati	083
		4. Modellazione e compromessi: criticità della piattaforma BIM per l'antico	093
		4.1 Problemi e potenzialità del modello	093
		4.2 Per un livello di dettaglio e di sviluppo maggiori: il passo successivo della ricerca	099
		4.3 Verifica e controllo del modello	102
		Conclusioni	108
		Appendice: schede ontologiche degli elementi modellati	113
		Glossario	131
		Bibliografia	139

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 utilizzare la traduzione in italiano.

Nella sezione *Glossario* si trovano i termini più utilizzati nel testo, quelli non immediatamente riconducibili alla lingua italiana e che tuttavia vengono utilizzati nel nostro linguaggio corrente, e tutti gli acronimi presenti nel testo, compresi quelli di nuova edizione.

Introduzione

Il potenziale dei sistemi BIM orientati al cosiddetto Heritage-BIM o H-BIM è innegabile; tuttavia rimangono irrisolte le questioni teoriche ed operative relative alla rigidità degli strumenti di modellazione quando sono coinvolti elementi del patrimonio culturale, in cui di fatto si rende necessaria elevata flessibilità. Questa ricerca intende analizzare gli aspetti critici derivanti dall'integrazione dei sistemi BIM nei processi di documentazione, conoscenza, comunicazione e gestione del *Cultural Heritage*, ed in particolar modo fornire una possibile metodologia applicativa nella realizzazione di modelli BIM per il costruito storico a partire dalle operazioni di acquisizione massiva di dati. In questo senso il rilievo architettonico dello stato di fatto si pone come sistema strutturato di conoscenza del manufatto ed è alla base di qualunque operazione che coinvolga il *Cultural Heritage*, compresa la modellazione in ambiente BIM. L'integrazione di questo tipo di dati con altri, eterogenei e condivisibili, come le informazioni storiche ed archivistiche sugli organismi architettonici e i sistemi HBIM, permette di ampliare la conoscenza del patrimonio storico costruito e di favorirne la condivisione e la gestione durante il ciclo di vita, al fine di preservarlo per le generazioni future. La costruzione di questo tipo di modelli interoperabili e parametrici tuttavia presenta notevoli gradi di complessità, da un lato derivanti dalla natura delle piattaforme BIM create per la modellazione di elementi standardizzati, dall'altro per la grande quantità di dati eterogenei che l'operatore è chiamato a gestire. In questo framework, è stato scelto come caso studio il Battistero di San Giovanni a Firenze, un importante edificio monumentale caratterizzato dalla complessità delle plurisecolari stratificazioni architettoniche ed artistiche, sul quale sperimentare la modellazione BIM come veicolo di informazione e comunicazione. Un coacervo di studi, contributi e tecnologie applicate alla fabbrica nei secoli costituiscono il sostrato documentale su cui appoggiare la modellazione. Inoltre per tale monumento, si poteva disporre dei dati di rilievo e indagini acquisite nel 2013 e

messe a disposizione dal *Center of Interdisciplinary Science for Art, Architecture, and Archaeology* (CISA3) della UCSD "Università della California San Diego", con la quale il Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro della nostra Facoltà ha già avviato da tempo una collaborazione.

Finalità della ricerca

La ricerca proposta mira a definire un protocollo operativo per la modellazione BIM del costruito storico a partire dai dati di rilievo, articolato in diverse fasi volte a definire un database di informazioni eterogenee di partenza sul manufatto architettonico attraverso la ricerca storica, archivistica e bibliografica, la raccolta e sistematizzazione dei dati provenienti dal rilievo e dalle indagini diagnostiche, e la realizzazione di un modello *BIM as is* che descriva lo stato di fatto del monumento. Il modello HBIM così realizzato dovrà costituire un database conoscitivo aggiornato del manufatto e proporsi come base per ulteriori analisi, come la rappresentazione delle stratificazioni edilizie e delle fasi costruttive del monumento, e fornire tutte le informazioni per gli interventi di conservazione. *Starting point*, come già detto, sarà il rilievo tridimensionale integrato e le indagini diagnostiche effettuate con tecniche non distruttive sulla fabbrica.

Articolazione della ricerca

Nella prima parte della ricerca viene presentato lo studio e la ricognizione delle informazioni raccolte sul BIM in questo specifico campo di applicazione, e il problema della trasposizione dei dati di rilievo in un modello tridimensionale parametrico; a seguire, viene chiarito l'approccio metodologico utilizzato per la modellazione HBIM del caso studio, costituito da differenti steps. Vengono poi affrontate alcune tra le più importanti normative nazionali ed internazionali in materia di BIM e soprattutto la definizione del *Level of Development*. Il primo passo nell'approcciare la modellazione è stato quello di definire concretamente cosa si intendesse per livello di

sviluppo di un oggetto BIM parametrico, cosa venisse scritto dalle normative al riguardo, e quali differenze e analogie avesse con il più volte confuso livello di dettaglio (*Level of Detail*). Da queste riflessioni nasce la concezione di Livelli Tematici per il modello HBIM.

La seconda parte è indirizzata alla raccolta delle informazioni sul caso studio, e consiste nella definizione di un database di partenza per la modellazione, costituito dalla ricerca bibliografica, indagini storico archivistiche condotte *in situ* e nelle principali biblioteche e archivi della città di Firenze e Roma; infine ha riguardato la raccolta e sistematizzazione dei dati di rilievo, la selezione dei dati provenienti dalle indagini diagnostiche e la preparazione di questi dati per essere importati all'interno della piattaforma BIM *authoring* utilizzata per la modellazione: *Autodesk Revit 2019*. Queste ultime attività sono state espletate direttamente all'interno dei laboratori della CISA3 a San Diego, in collaborazione con tecnici, professori ed ingegneri, che mi hanno ospitato per tre settimane. Nella terza parte confluiscono tutte le considerazioni precedenti, e il flusso di lavoro è caratterizzato da una prima fase di scomposizione dell'oggetto architettonico nelle sue parti costruttive, funzionali e decorative attraverso la definizione ontologica di ogni elemento, e di una parte finale di ricostruzione del manufatto in un modello tridimensionale parametrico attraverso l'utilizzo di diverse categorie di famiglie. Vengono a seguire individuate le criticità relative alla costruzione di modelli digitali per l'edilizia storico monumentale tramite piattaforme che non nascono per questo scopo, ma anche le potenzialità riscontrate nell'utilizzo del processo metodologico seguito, i limiti del modello prodotto, la sua validazione, ed eventuali soluzioni per il raggiungimento di un risultato migliore in termini di accuratezza.

1. Heritage BIM: considerazioni generali sulla modellazione del patrimonio storico costruito

“... Io un'idea ce l'ho, è originale – è I MODELLI.

Modelli materiali, in senso proprio e corrente.

Copiando un modello si impara a tenere il lapis in mano, a far le righe diritte, a farci l'occhio alle proporzioni. E se il modello è una forma geometrica, s'impara la geometria, osservandolo e ragionandoci su.

E se uno, a parte, ha imparato l'ABC della Geometria descrittiva (ciò che poi vuol dire ha imparato la Geometria descrittiva come diceva Monge) può ricostruire quel che ha sotto il naso in modo esatto.

E se il modello ha certe dimensioni e una sua posizione nello spazio, resta trasferito sulla carta anche con queste e s'impara il Rilievo. E se uno ha studiato la Teoria delle Ombre e del Chiaroscuro ... ci fa sopra le ombre e gli dà il rilievo. E viene fuori anche un “bel disegno”.

E se uno illumina il modello come nel disegno, ha la bella soddisfazione che sì, è proprio vero, le cose stanno proprio come ci aveva detto la geometria.

E se poi il modello piccolo non ci basta perché ci sono le dimensioni dell'ARCHITETTURA che sono diverse, allora basta cambiare modello e prendere quello VERO, un edificio e ripetere l'operazione in grande”.

Orseolo Fasolo, 1987.

Nell'ambito della modellazione tridimensionale e nella gestione e valorizzazione degli edifici storici, soprattutto se di carattere monumentale e di elevato valore architettonico e culturale, la possibilità di applicare un approccio *Building Information Modeling* costituisce un'interessante sfida e rappresenta un'oggettiva potenzialità per le discipline del Disegno e della Rappresentazione¹.

I processi BIM per le nuove costruzioni o per l'esistente moderno, si sono ormai affermati da tempo nel campo della rappresentazione tridimensionale dell'architettura, garantendo il

controllo della progettazione e di tutte le fasi del ciclo di vita degli edifici². Questione aperta, e molto dibattuta negli ultimi anni, è invece la possibilità di impiego dei medesimi processi nel campo del patrimonio edilizio monumentale o appartenente alla sfera del Cultural Heritage. I modelli 3D per loro natura, sono costituiti da unità geo referenziate, relative in primo luogo alla geometria, topologia, materiali, etc. Al contempo, le tecnologie di archiviazione digitale, analisi e gestione delle informazioni hanno trovato nei modelli tridimensionali il sostrato su cui sviluppare le proprie potenzialità (Centofanti et al. 2016). La virtualizzazione dei beni culturali è negli ultimi decenni divenuta di interesse non solo per gli studiosi e operatori del settore, ma particolare attenzione in questo campo è stata posta anche dall'UNESCO³ in riferimento alla conservazione del *Digital Heritage* e al rapporto di trasparenza e conoscenza tra gli oggetti del patrimonio storico e la loro digitalizzazione. La gran parte dei modelli tridimensionali informatici consente di descrivere le caratteristiche geometriche, topologiche, materiche e colorimetriche appartenenti agli oggetti reali; tuttavia queste caratteristiche, che sembrano descrivere appieno un determinato manufatto, non tengono conto di un'altra serie di informazioni circa la storia e lo sviluppo nel tempo dell'organismo architettonico, la sua documentazione bibliografica e archivistica, e tutto quel processo conoscitivo che l'operatore compie ogni volta che approccia alla modellazione del patrimonio storico costruito (fig.1.1). Le operazioni volte alla tutela ed alla conservazione del nostro patrimonio storico impongono la necessità di conservazione anche di tutta quella serie di dati che il *Cultural Heritage* si porta dietro, dalle informazioni storiche ai dati di rilievo, senza tuttavia archivarli acriticamente, ma predisponendo uno spazio digitale dedicato alla loro archiviazione. Il BIM offre la possibilità di gestire un'importante quantità di dati eterogenei che, andando oltre il semplice aspetto geometrico, possano costituire un archivio digitale di dati ed informazioni, utile alla documentazione ed alla conservazione

dell'architettura storica (Fig.1.2). La traduzione della complessità del costruito storico in un modello tridimensionale digitale pone importanti interrogativi sulle procedure da adottare. Quando si tratta infatti di edilizia esistente, e di quella storica in particolare, ci si domanda in primo luogo in che modo il BIM possa essere un reale vantaggio per lo studio di questo tipo di manufatti (Bianchini et. Al, 2016). In effetti, mentre per un nuovo edificio il livello di discretizzazione dell'operatore è minimo, in quanto il livello di sviluppo LOD garantito dall'industrializzazione degli elementi è molto alto ed assicura dati del tutto affidabili, per gli edifici esistenti egli dovrà discretizzare e semplificare soggettivamente gli elementi in cui scomporre l'organismo edilizio. Il termine HBIM è stato coniato da Murphy (Murphy, MC Govern, Pavia, 2013) che lo presenta come una soluzione innovativa, in cui gli elementi architettonici sono oggetti che integrano diverse informazioni. In quest'ottica, l'HBIM è un sistema interscalare, consistente nella modellazione di elementi architettonici parametrizzati sulla base delle regole dei trattati e dei dati derivanti da indagini sull'edificio (Campi et al. 2018). L'approccio BIM ad un edificio storico differisce in primo luogo nella quantità e tipologia dei dati di partenza. Nel settore del Patrimonio storico si tratta di una grande quantità di dati a disposizione da dover analizzare e selezionare. Occorre stabilire come catalogarli, codificarli ed archivarli all'interno del modello (o dei modelli) per favorire la massima interoperabilità del dato e per consentire la realizzazione di un modello BIM coerente; realizzare un buon modello facilita la lettura e la comprensione dell'edificio stesso. Il modello BIM del costruito storico differisce anche e soprattutto per le forme architettoniche coinvolte ed il modo di rappresentarle all'interno del modello sotto forma di attributi geometrici ed informativi. Le difficoltà che si incontrano nella fase di modellazione sono associate soprattutto al flusso di lavoro di modellazione parametrica, sottoposto a "librerie" di oggetti digitali standardizzati, che si scontrano con la variabilità e l'unicità dell'ambiente costruito, soprattutto quando storico o in cattivo stato di conservazione.

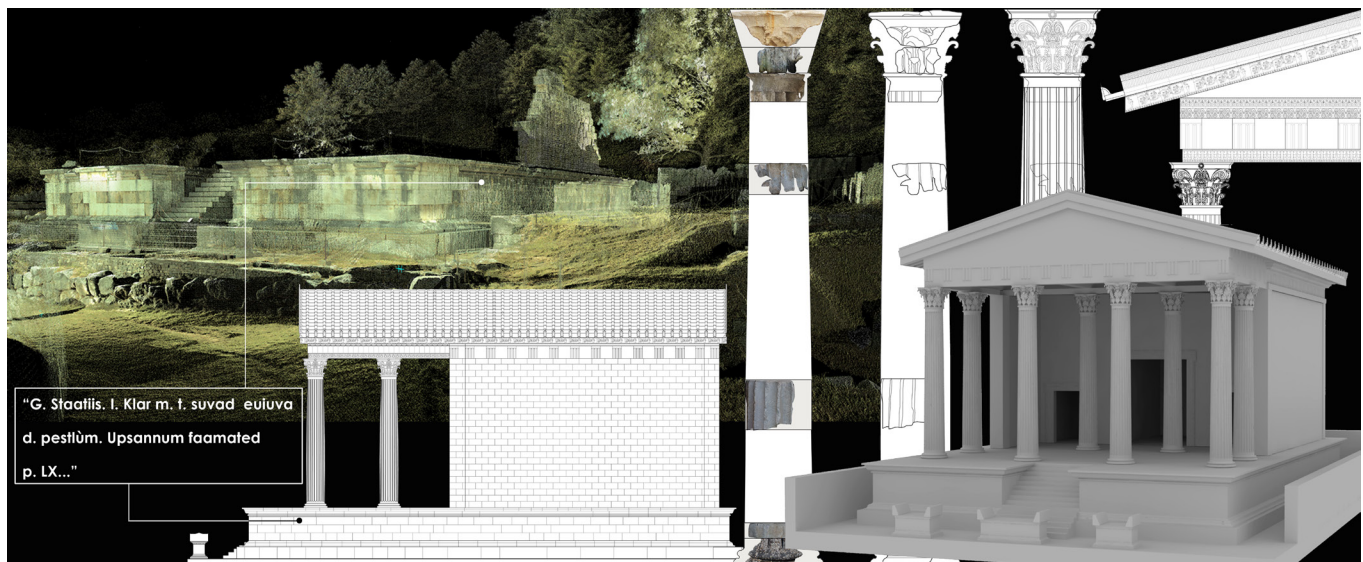
Mentre la transizione da modelli numerici a modelli geometrici implica un'operazione cruciale critica di "discretizzazione", nella costruzione BIM, il modello comporta un ulteriore passo interpretativo: la strutturazione semantica dei suoi elementi compositivi. Questa operazione ontologica, innega-

bilmente soggettiva, va ben oltre il riconoscimento delle caratteristiche geometriche degli elementi. Nell'ambiente BIM, infatti, il modellatore procede dal *continuum* della realtà al digitale discreto esplorando un dominio, additivo e gerarchico, in cui trova agli oggetti digitali il loro posto. L'aggregazione di questi oggetti, sottoposti a rapporti reciproci di incorporazione o appartenenza nonché a vincoli e regole di interazione, guida l'effettiva costruzione del modello informativo virtuale.

1.1 Dal rilievo all'HBIM: stato dell'arte

Il nostro patrimonio storico architettonico ha sempre più bisogno di modelli tridimensionali ad alta risoluzione per garantirne un'adeguata digitalizzazione, e grazie al rapido progredire tecnologico nel campo delle acquisizioni integrate di dati⁴, questi modelli sono sempre più disponibili. Tutte le operazioni che riguardano la conoscenza di questo tipo di manufatti, secondo una letteratura ormai consolidata⁵, hanno sempre a che fare con le acquisizioni massive di dati che, da modelli numerici (fig.1.3) si trasformano in modelli 3D texturizzati o mesh, e modelli 2D. Anche per i modelli *Heritage* o *Historic BIM*, il sostrato è costituito dalle nuvole di punti, da TLS e SfM, che interessano l'organismo architettonico. La difficoltà nella traduzione del modello numerico della nuvola di punti derivante dal rilievo, ad un modello parametrico BIM è rappresentata in primo luogo dalla capacità delle nuvole di punti di descrivere "solamente" lo stato di fatto del monumento, dando conto delle caratteristiche geometriche, cromatiche e materiche, e di conseguenza superficiali. Per realizzare un modello BIM parametrico, occorrono tutta una serie di altre informazioni che vanno oltre la superficie scansionata. Inoltre, come verrà approfondito più avanti, l'importazione delle *point clouds* di vario genere all'interno delle piattaforme BIM *authoring*, equivale all'importazione di un "fantasma", che di fatto non interagisce direttamente con il modello, ma serve esclusivamente come calco dell'organismo architettonico su cui "appoggiare" la modellazione 3D dei suoi elementi.

Numerose ricerche in questo ambito hanno messo in luce potenzialità e problematiche legate alla definizione di un *workflow* per la modellazione BIM degli oggetti da nuvole di punti. Dal *plug-in GreenSpider* (Garagnani, Manferdini, 2013) per la realizzazione di forme⁶, la cui ricerca ha stimolato studi sulla definizione di *shape grammar* specifiche per

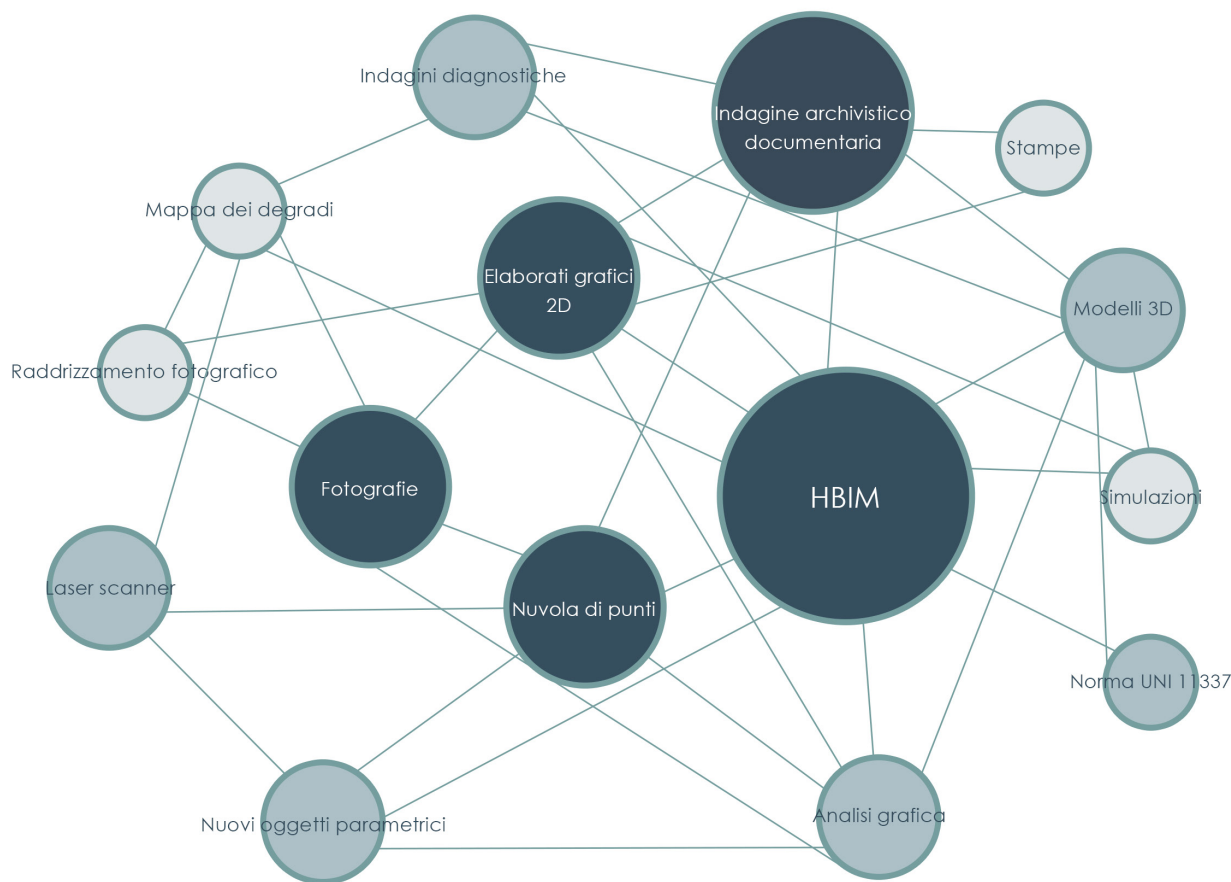


1.1/ Ricostruzione 3D del Tempio Maggiore del Santuario Italico di Pietrabbondante. Rilievo del sito archeologico e dei reperti conservati nei depositi e confronto stilistico con pezzi simili provenienti da altre aree archeologiche della zona.

single tipologie di elementi costruttivi, come ad esempio le volte, grazie all'utilizzo di software VPL (*Visual Programming Language*) come *Autodesk Dynamo* per la rappresentazione di elementi generabili utilizzando determinate regole e parametri⁷ (fig.1.4). Si è parlato anche della creazione di famiglie parametriche nidificate, ovvero tramite processi di aggregazione gerarchica dei componenti a seconda della funzione strutturale, funzionale e decorativa⁸. Una soluzione per superare il limite nella modellazione BIM di forme irregolari e complesse è offerta dall'importazione in ambiente BIM di NURBS, a cui vengono aggiunte le informazioni su materiali e sul loro stato conservativo⁹. Altri ricercatori hanno ragionato sul tema della conversione semi-automatica della nuvola di punti in oggetti semantici (Remondino et al. 2018), evidenziando però sempre come ricorrere al processo BIM per il patrimonio costruito risulti piuttosto dispendioso in termini di tempo e risorse impiegate. Il livello di complessità di rappresentazione 3D del costruito storico e la sua trasposizione in modelli informativi è in effetti molto elevato, in quanto caratterizzato da un alto grado di non omogeneità: stratificazioni evolutive, geometrie complesse e commistioni di tecniche costruttive.

1.1.2 Dal rilievo all'HBIM: un approccio per fasi

Di fatto ancora oggi gli approcci appena descritti non automatizzano del tutto il processo di trasposizione delle nuvole di punti in modelli BIM; di conseguenza il processo *Scan-to-BIM* prevede ancora una importante componente di modellazione manuale, che tuttavia necessita di una articolazione per fasi, e che è quella che verrà descritta all'interno della ricerca nei prossimi paragrafi. L'obiettivo di ottenere una migliore corrispondenza possibile tra l'oggetto reale ed il suo modello virtuale, implica una strutturazione della metodologia operativa per fasi, al fine di ottimizzare il flusso di lavoro, ma anche di renderlo replicabile ed applicabile ad altri oggetti del patrimonio storico costruito e di conseguenza condivisibile in campo scientifico (fig.1.5). La prima fase, ovvero quella della conoscenza, prevede la raccolta dei dati sullo stato dell'arte del manufatto architettonico, ricerche bibliografiche storiche ed archivistiche per acquisire più informazioni possibili sul monumento, le sue caratteristiche, la sua storia dalla costruzione ai giorni nostri. Il tutto deve essere finalizzato alla creazione di un database di riferimento, punto di partenza per la modellazione e dal quale attingere continuamente informazioni. La creazione del database ha un duplice scopo: da una



1.2/ Schema grafico delle entità coinvolte nel processo Building Information Modeling per il costruito storico.

parte quello di aiutare e supportare l'operatore nelle fasi di modellazione, dall'altro costituisce un vero e proprio raccoglitore di informazioni sul monumento, sempre consultabile ed implementabile. Alla fase di conoscenza appartiene anche il rilevamento architettonico dell'oggetto di studio tramite acquisizione massiva, che descrive al meglio il suo attuale stato di fatto e di conservazione; di per sé riassume il modello *as is* del manufatto dal punto di vista numerico e si offre come base di partenza per la modellazione BIM, in quanto è possibile importare i dati all'interno delle piattaforme ed utilizzarli come supporto da rilucidare. Considerando inoltre

gli enunciati della Carta del Rilievo Architettonico (AA. VV., 2000), in cui si auspica che il rilievo di ogni organismo debba possibilmente essere trasformato in un sistema informativo sempre integrabile, sembra che l'integrazione tra rilievo e BIM nella conoscenza del patrimonio storico costruito offra scenari interessanti. Oltre al rilievo, è auspicabile, per i motivi già annunciati in precedenza, condurre ove possibile una serie di indagini diagnostiche, meglio se non distruttive, del manufatto, oppure ricercare i dati di eventuali indagini precedentemente condotte e pubblicate; queste ci consentiranno di conoscere l'oggetto oltre la sua "pelle", di comprenderne la

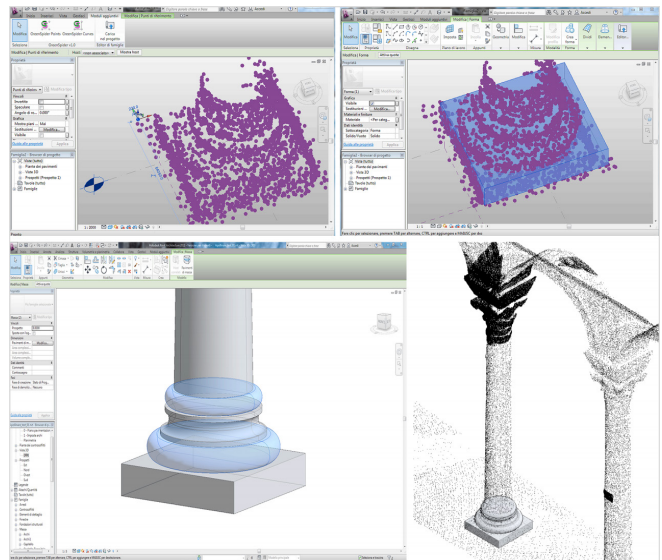
Giorgia Potestà



1.3/ Modelli numerici per il patrimonio storico: il complesso teatro-tempio nel Santuario Italico di Pietrabbondante, il Battistero di San Giovanni a Firenze, la Chiesa di San Carlo ai Catinari a Roma.

sua composizione e offriranno aiuto nella modellazione delle librerie parametriche di oggetti digitali. La prima fase si caratterizza dunque per la raccolta e formazione di un database dell'organismo architettonico, connotato da informazioni ed elementi di varia natura (fig.1.6). La creazione del database di partenza e la raccolta delle informazioni sul caso studio verrà illustrata all'interno del capitolo 2.

La seconda fase, secondo un processo naturale di studio ed approfondimento, viene definita "scomposizione". Durante questo passaggio l'organismo viene scomposto nei suoi elementi ontologici, e tutte le componenti vengono discretizzate.

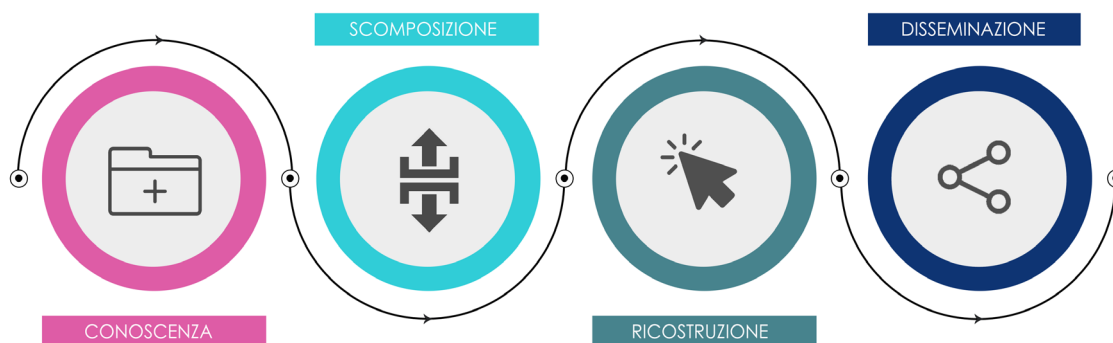


1.4/ Il plug-in di Autodesk Revit 2012 Green Spider sviluppato da S. Garagnani per l'importazione di vertici selezionati di una nuvola di punti come punti di riferimento.

Questo processo, di riconoscimento ed individuazione della gerarchia e dei rapporti reciproci tra le parti come vedremo più avanti, potrà avvenire in maniera automatica, semi automatica o manuale. Sempre in questa fase, passo preliminare all'importazione della nuvola di punti nella piattaforma BIM è quello della segmentazione della stessa attraverso il riconoscimento delle sue parti principali, al fine di favorire la gestione e la visualizzazione della nuvola in ambiente BIM.

La terza fase, quella della ricostruzione, prevede la modellazione vera e propria. In questo ambito viene a costituirsi il modello BIM del manufatto architettonico oggetto di studio attraverso la modellazione di tutti gli elementi e le componenti architettoniche dal punto di vista degli attributi geometrici ed informativi. Da un primo step di modellazione geometrica si passa infatti all'inserimento di una serie di connotati informativi, come dati sui materiali, eventuali descrizioni aggiuntive per ogni elemento modellato e soprattutto la sua specifica fase edilizia. Seconda e terza fase verranno esaminate nel dettaglio all'interno del capitolo 3.

Passo successivo riguarda l'eventuale possibilità di costruire, a partire dal modello completo, dei modelli tematici a secon-



1.5/ Schema info grafico delle fasi di articolazione della ricerca.

da di specifici obiettivi e finalità del modello stesso, come possono essere rappresentazioni delle fasi evolutive o del livello di affidabilità oggettiva degli elementi modellati¹⁰.

Infine l'ultima fase, ovvero quella della disseminazione, in cui si tirano le somme, si evidenziano le potenzialità e le criticità del modello e si condivide in campo scientifico il processo, al fine di metterlo al vaglio della comunità scientifica. Quest'ultima parte mira a valutare l'attendibilità e la ripetibilità del processo di costruzione del modello BIM ad altri contesti di studio, i risultati ottenuti e la possibilità di migliorarli con ulteriori accorgimenti; getta inoltre le basi per possibili sviluppi futuri di ricerca.

1.2 Le normative sul BIM: chiarimenti sul Level of Development

Il BIM e la sua implementazione nei progetti rende sempre più importante chiarire il concetto di dettaglio grafico dei progetti e di LOD presente nei modelli BIM. In diverse occasioni è apparso evidente come tra i progettisti e le realtà coinvolte a vario livello nella progettazione BIM ci sia confusione sul significato di LOD.

Per ciascuna fase del progetto, considerando per un momento le nuove costruzioni, è di fondamentale importanza che risulti ben definito il livello di dettaglio richiesto, sia per informazioni grafiche e geometriche, che di attributi. Nel modello BIM possono convergere molte informazioni, ed è importante quindi che risiedano nel modello quelle utili al

committente ed utilizzate dai diversi professionisti che collaborano al progetto, nelle diverse fasi della progettazione. Quindi il livello di dettaglio del modello BIM aumenta man mano che il progetto procede: nella prima fase le informazioni che caratterizzano il modello solitamente sono quelle relative alla situazione esistente, mentre nelle fasi successive si passa da un semplice modello di concetto ad un modello virtuale (as-built) reso reale grazie ad un livello dettagliato e, di fatto, costruttivo. La pratica progettuale prevede in effetti uno sviluppo di informazioni e geometrie a diverse velocità, e questi aspetti possono provenire dai diversi collaboratori del team di progetto. Allo stesso modo, quando consideriamo un edificio esistente, specialmente se appartenente alla sfera del patrimonio storico costruito, ci troviamo davanti alla stessa problematica, ovvero definire preventivamente i diversi livelli di sviluppo del progetto, in cui il livello di partenza è già il modello *as-built*, o meglio *as-is*, ovvero la situazione attuale è l'edificio storico davanti a noi, caratterizzato da tutta una serie di attributi, sia geometrici che informatici più o meno dettagliati.

I LOD hanno il compito di definire con precisione il livello di approfondimento delle informazioni di varia natura che sono contenute all'interno del modello. Il termine LOD rappresenta il "Livello di definizione" (o Livello di sviluppo) che gli oggetti presenti nel modello BIM devono assumere nelle varie fasi della progettazione. Secondo quanto definito nelle fasi iniziali di una progettazione BIM, la committenza redige un

documento nominato EIR¹¹ (*Employer's Information Requirements*) contenente requisiti fondamentali da inserire nella progettazione. La definizione delle caratteristiche di ogni singolo LOD è un tema affrontato da diversi e importanti riferimenti normativi, italiani e soprattutto internazionali.

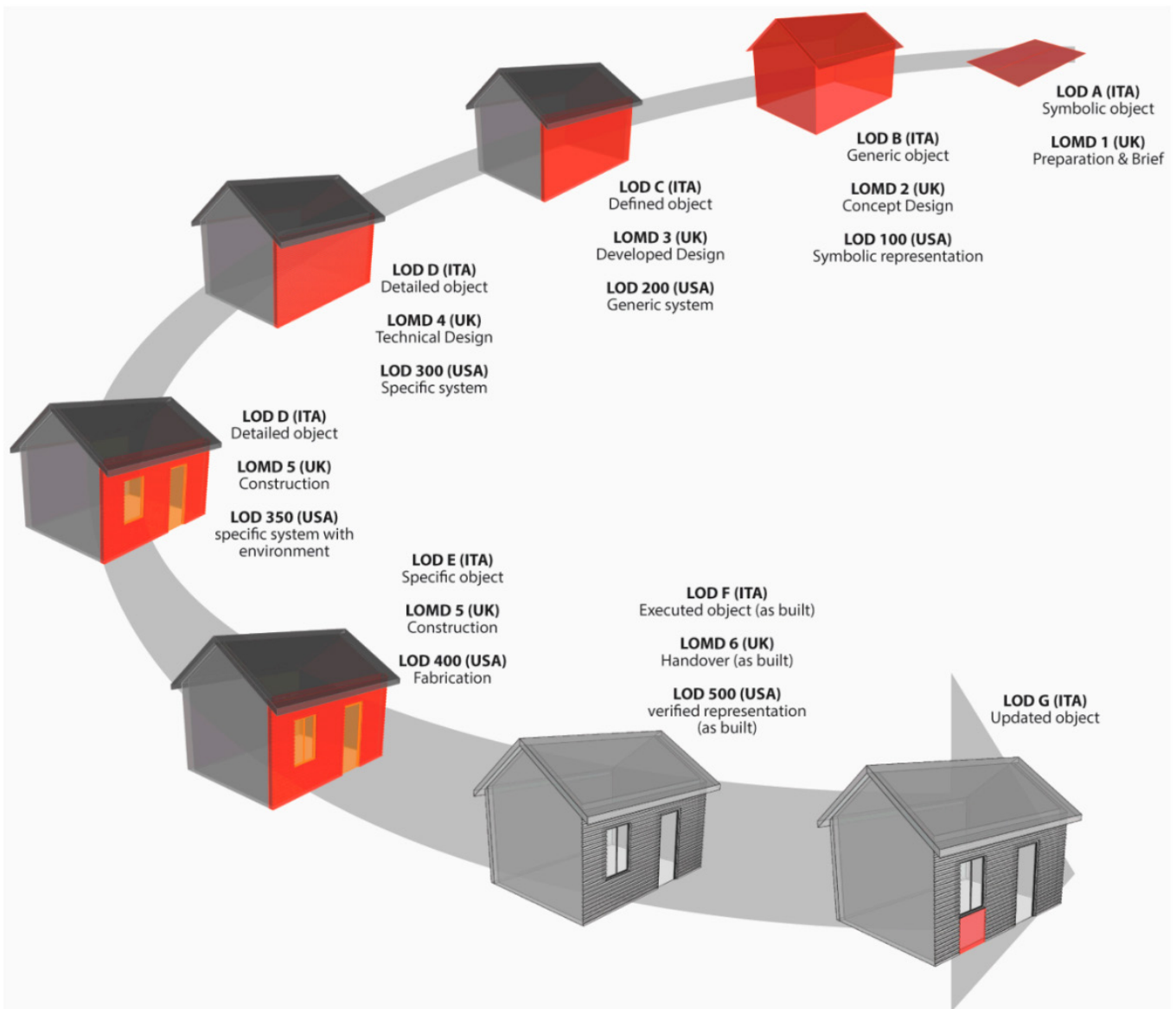
Nel Regno Unito la normativa BIM PAS 1192-2 rappresenta lo standard di riferimento per lo scambio di informazioni nei progetti BIM. Nel 2013, il Level Of Model Definition (LOMD), definito da LOD e LOI, si riferisce alla descrizione del contenuto grafico e non grafico dei modelli in ciascuno step, sottolineando il doppio canale geometrico e informati-

vo. Nel 2015, la *Technology Strategy Board* ha sviluppato uno strumento BIM digitale gratuito¹² incentrato sull'elaborazione di LOD e LOI correlati agli oggetti e non all'intero progetto. La scala LOD è organizzata secondo numerazione che va da 1 a 5, distinguendo via via la fase concettuale, la progettazione sviluppata, la progettazione tecnica e costruzione, mentre la scala LOI prevede inoltre la fase di funzionamento e manutenzione.

In ambito americano, l'*American Institute of Architects* (AIA) ha pubblicato un quadro LOD per il Protocollo *AIA G202-2013 Building Information Modeling*, laddove il termi-



1.6/ Ambiente di condivisione dati del Battistero: dati che concorrono alla creazione del database e della modellazione ragionata.



1.7/ Confronto della progressione tra i Livelli di Sviluppo (LOD) nelle diverse Normative: italiana, inglese ed americana. Immagine tratta da: Carnevali et al., 2019, p. 2301.

ne LOD si riferisce al livello di sviluppo necessario in relazione ai contenuti degli elementi del modello; la scelta di utilizzare la definizione “livello di sviluppo” invece di “livello di dettaglio” è motivata dal fatto che un elemento, pur potendo apparire visivamente dettagliato, potrebbe in realtà essere generico. Secondo tale documento, il grado di sviluppo ottenibile attraverso la redazione di un modello di edificio definito attraverso un approccio di tipo BIM è suddiviso in cinque livelli ordinati per centinaia, dal LOD 100 in cui l’elemento è rappresentato in maniera generica, al LOD 500 dove l’elemento rispecchia fedelmente la realtà ed è una rappresentazione verificata in cantiere in termini di forma, posizione, dimensione etc¹³. Nel 2011 il *BIMforum* partendo dalle indicazioni dei LOD stabiliti dall’AIA, ha iniziato a definire specifiche per i LODs, introducendo allo stesso tempo un nuovo livello LOD (LOD 350) e attribuendo per la prima volta gli attributi non grafici alle specifiche geometriche. Alla fine, nel 2013, il significato di *Level of Development* è cambiato, da un lato, concentrandosi su dimensioni, qualità e quantità caratteristiche del modello in relazione al suo utilizzo¹⁴ e, dall’altro, nel dividere ogni livello in due parti: attributi geometrici e non geometrici.

La normativa italiana invece, norma UNI 11337-4:2017 intesa come normativa volontaria e non obbligatoria come il Decreto BIM (D. M. 560/2017), prevede una articolazione di LOD in sequenza alfabetica, dove i primi cinque livelli prevedono l’evolversi del LOD dalla rappresentazione simbolica fino all’oggetto specifico, mentre per interventi di restauro prevede l’utilizzo di ulteriori due livelli, ovvero il LOD F, ove gli oggetti esprimono la virtualizzazione rilevata sul luogo dello specifico sistema esistente (*as built*) e sono definiti per ogni singolo prodotto gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione da eseguirsi lungo un arco temporale di programmazione, e il LOD G, che riguarda la rappresentazione storicizzata dello scorrere della vita utile di uno specifico sistema aggiornato rispetto a quanto trattato o installato in un precedente intervento. Le caratteristiche quantitative e qualitative (dimensione, forma, ubicazione, orientamento, etc.) sono aggiornate rispetto ad un precedente stato di fatto. Nella normativa italiana si è infine definita la possibilità di integrare gli attributi dei LOD di alcuni oggetti anche con nodi e viste 2D, se non necessaria o economicamente/tecnicamente non sostenibile la loro modellazione, e la modalità di integrazione

dei LOD degli oggetti all’interno del complessivo processo informativo digitale (fig.1.7).

1.2.1 Level of Development & Level of Detail

È importante, quindi, comprendere fino a che LOD (*level of development*) si debba effettivamente arrivare nella modellazione degli elementi costruttivi base, come la muratura ad esempio, poiché la creazione di modelli strutturali discontinui, i cosiddetti *micro-models*, in cui vengono discretizzati singolarmente gli elementi (blocchi o elementi lapidei) e i giunti di malta, è computazionalmente onerosa, difficilmente gestibile e non sempre le informazioni sull’apparecchiatura costruttiva vanno oltre le semplici ipotesi (Currà et. Al, 2019). Inoltre, la modellazione richiede un certo grado di semplificazione e astrazione ed eccessivi dettagli possono essere inappropriati. Per tale ragione, è necessario sottolineare come il concetto di LOD non si applichi solo alla geometria, ma anche all’accuratezza, all’affidabilità e alla *transparency* degli elementi (Maiezza, 2019).

I moderni software di BIM *authoring* infatti sono in grado di modellare gli elementi costruttivi con dettagli grafici differenti, da una visualizzazione schematica fino ad un grado di dettaglio particolarmente elevato. Ma da quanto è possibile vedere all’interno dei software BIM architettonici, sembra esserci una stretta analogia tra Livello di sviluppo e livello di dettaglio dei componenti modelli, e così risulta semplice pensare che sia sufficiente aumentare il dettaglio per poter passare da un LOD a quello successivo, e che il *Level of Development* sia equivalente al dettaglio grafico. La realtà è ben diversa: modellando ad esempio un pacchetto murario possiamo definire in progressione diversi LOD che riguardano il livello di sviluppo dell’elemento e le sue caratteristiche, diverse per componenti geometriche e componenti informatiche. Ecco allora che il LOD differisce dal dettaglio grafico per gli attributi che possono popolare gli oggetti BIM in funzione della fase progettuale, ovvero i LOI. Non si può pensare ad un oggetto BIM che non abbia nei suoi LOD più elevati una serie di informazioni non grafiche aggiunte (gli attributi informatici). Proprio questa caratteristica rende la sequenza dei LOD unica e non confondibile con il dettaglio puramente grafico, *Level of Detail* che viene applicato alla sola componente geometrica dell’elemento modellato (fig.1.8).

1.2.2 Il Level of Detail: strutturazione su livelli

Avendo chiarito quindi la differenza tra LOD (Livello di sviluppo) e LOd (Livello di dettaglio), e che quest'ultimo venga applicato esclusivamente alla geometria modellata, non ci resta quindi che definire operativamente quali e quanti siano i livelli di dettaglio geometrico che è possibile rappresentare. Occorre tuttavia specificare, che nella codifica del nuovo acronimo LOd (*level of detail*) si è innanzitutto ragionato sugli acronimi già utilizzati e consolidati in letteratura, come quello di LOD (*level of development*) a lettere maiuscole. Si è pertanto scelto di rappresentare il *level of detail* con la lettera d minuscola, per distinguere ulteriormente *Development* da *Detail*, avendo quest'ultimo applicazione solo alla geometria dell'oggetto modellato; inoltre nelle precedenti pubblicazioni non si è mai approfondita la tematica di codifica di questo livello nella progettazione BIM¹⁵. Se pensiamo alla procedura vitruviana di rappresentazione dell'ordine architettonico per partizioni successive, sapientemente illustrata da Migliari (Migliari, 1991) essa viene distinta in tre livelli principali, intimamente riferiti alla triade vitruviana di *firmitas*, *utilitas* e *venustas*; questi livelli sono il Livello Costruttivo, quello delle grandi masse e del primo proporzionamento, il Livello Funzionale, che comprende invece le parti più piccole, generate per divisione degli altri elementi¹⁶, ed infine il Livello Decorativo, in cui ogni elemento viene completamente modellato per mezzo della giustapposizione e del proporzionamento delle modanature. È qui che ogni ordine si caratterizza. (fig. 1.9). A seguito di questa riflessione ci chiediamo pertanto se sia possibile applicare questa stessa suddivisione in livelli, basata sulla logica vitruviana, alla scomposizione dei *Levels of Details*.

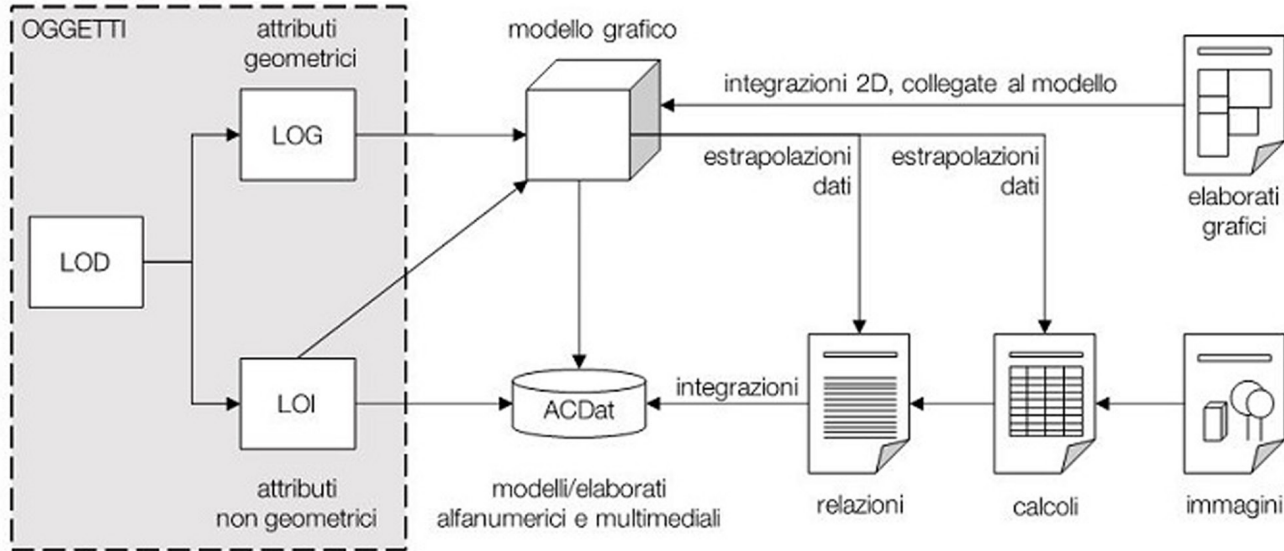
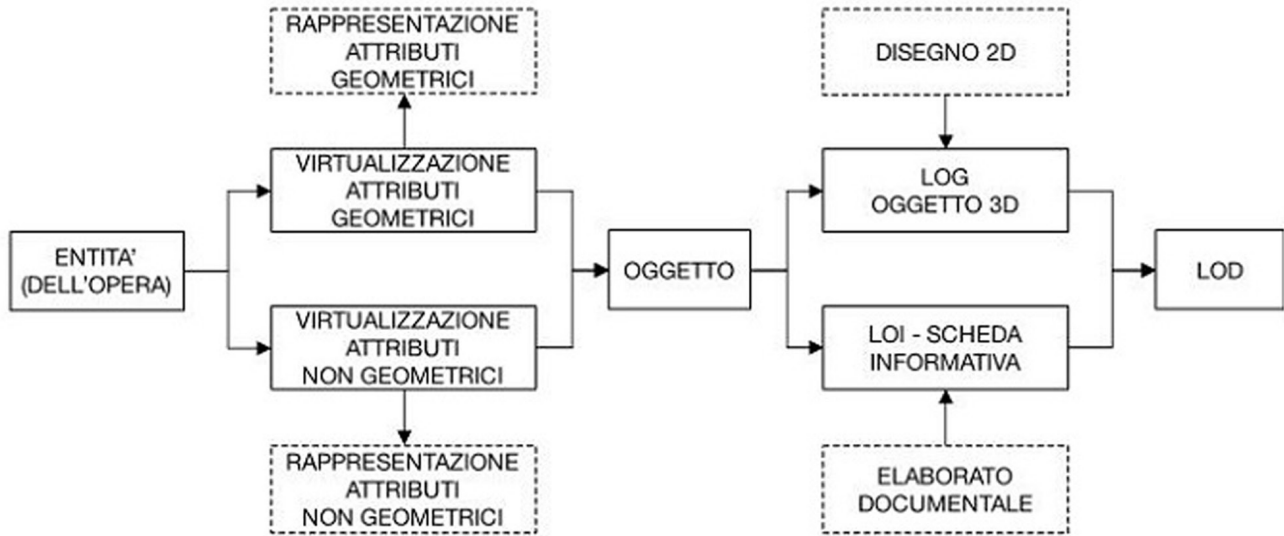
In effetti, anche per la modellazione parametrica degli elementi questa scomposizione a tre livelli sembra essere coerente. In questo caso, come descrive Migliari, si avrebbe un livello di dettaglio basso, costruttivo, in cui compaiono solo le grandi masse, le parti strutturali ed essenziali, un livello successivo in cui vengono rappresentate tutte le parti funzionali dell'elemento architettonico, un terzo ed ultimo livello in cui vengono a delinearsi anche le decorazioni, e l'elemento assume il suo aspetto completo. Ovviamente il livello di dettaglio grafico della geometria LOG, deve essere definito ed andare di pari passo con il livello di sviluppo LOD del singolo elemento.

In aggiunta a questo, all'interno del BIM *authoring Revit*, è già possibile visualizzare gli elementi secondo tre diversi livelli di dettaglio grafico, che vengono definiti *Course*, *Medium* e *High*. Di fatto, come è possibile verificare, se modelliamo all'interno della piattaforma un ordine architettonico classico, cambiando la visualizzazione nei diversi livelli, il livello di dettaglio della rappresentazione cambia, tuttavia in maniera approssimativa e senza una logica propria della scala grafica di rappresentazione architettonica.

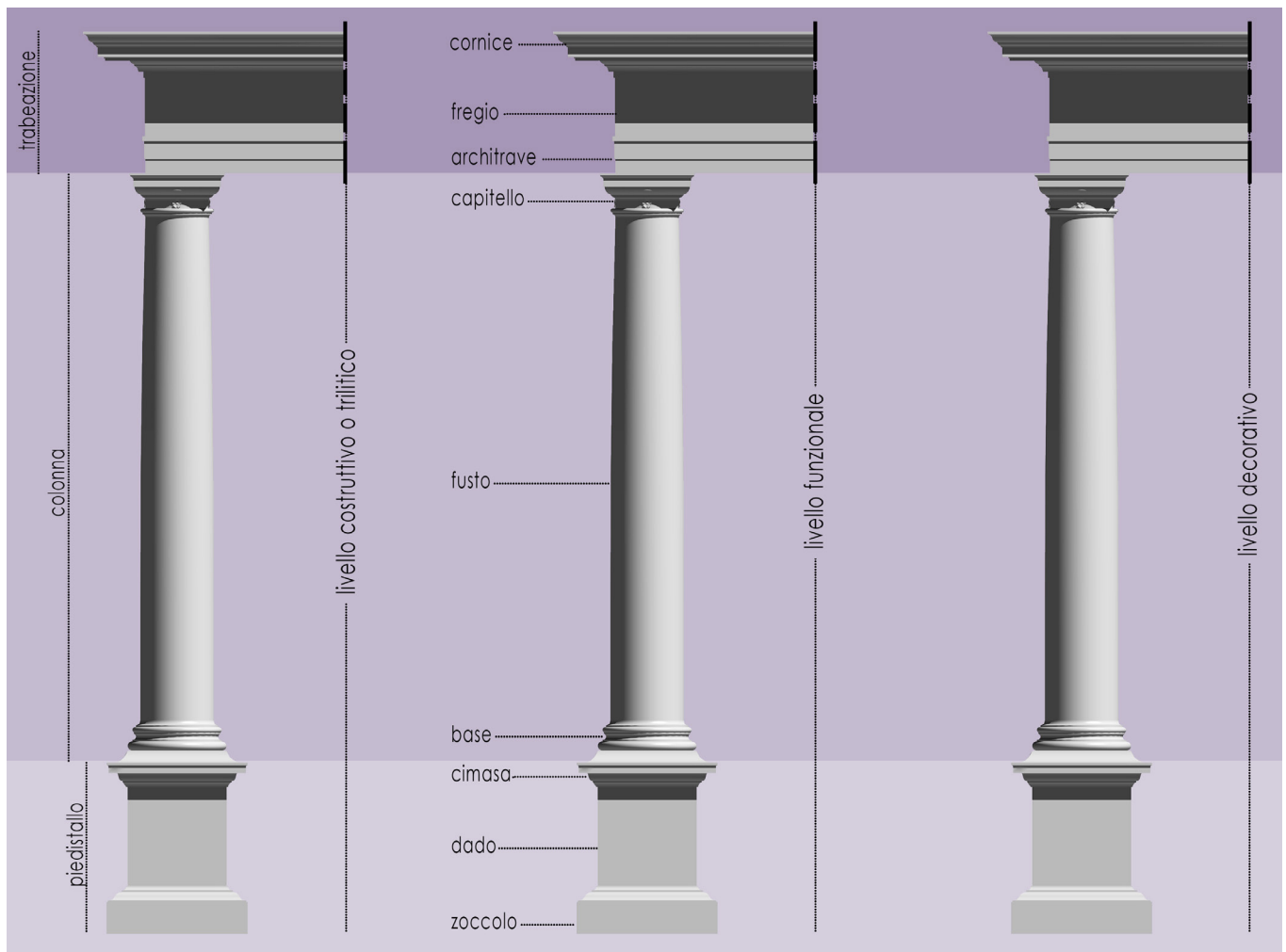
E' pertanto possibile rappresentare elementi con diversi livelli di dettaglio grafico della geometria, così come avviene per i livelli di sviluppo (fig. 1.10). Questo modello, così come quelli in cui viene graficizzato il Level of Reliability, ovvero il grado di affidabilità oggettiva dei singoli elementi modellati, o quelli in cui emerge la rappresentazione delle diverse fasi costruttive degli elementi all'interno del modello, definito *Level of Evolution*, possono essere solo alcuni di quelli che abbiamo definito *Thematic Levels* applicabili ad ogni modello HBIM a seconda degli obiettivi del modello stesso e di ciò che si vuole comunicare e rappresentare.

1.3 BIM e Livelli tematici

La traduzione dei dati di rilievo in un modello HBIM è un processo complesso e considerato *time consuming*, che necessita, per la sua definizione, di un appropriato approccio attuato attraverso considerazioni interdisciplinari (Verdiani et. Al 2019). Gli obiettivi che spingono alla modellazione BIM del costruito storico e le finalità di tali modelli possono essere molteplici, dal restauro alla comunicazione, fino anche alla valorizzazione, e per questo motivo è stato definito il termine "*BIM uses*" (Kreider e Messner, 2013). Secondo quanto approfondito dagli studiosi, per superare i limiti informatici che si incontrano nel voler pensare ad un modello unico che raccolga il sapere sull'edificio e sul quale possano essere svolte diverse analisi, di fatto non realizzabile con le odierne soluzioni software, viene pensato un sistema attraverso il quale è possibile associare ad ogni scopo e funzione un singolo modello BIM¹⁷. Sebbene questa soluzione possa sembrare efficace e ben descritta all'interno della pubblicazione, suddividendo in diverse categorie gli usi BIM che devono caratterizzare i modelli, di fatto questa non rappresenta la strada più efficiente dal punto di vista scientifico, in quanto si verrebbero a generare molteplici modelli BIM dello stesso



1.8/ Schema di strutturazione dei LOD secondo la normativa italiana: UNI Norma Nazionale 11337 – 4:2017.



1.9/ I tre livelli di scomposizione dell'ordine architettonico come concepiti da Riccardo Migliari nell'articolo "Il disegno degli ordini e il rilievo dell'architettura classica: Cinque Pezzi Facili" del 1991. Rielaborazione grafica.

oggetto architettonico, ognuno senza rappresentare l'esatta corrispondenza con lo stato di fatto, e senza assicurarne l'effettiva integrabilità/interoperabilità. Inoltre si tornerebbe ad avere gli stessi problemi antecedenti il BIM, ovvero all'utilizzo di diversi software che parlano lingue diverse e ad avere n modelli distinti.

In base alle problematiche fin qui esposte, si ritiene quindi che la base di partenza per ogni modello BIM del costruito storico monumentale, così come avvenuto finora, debba es-

sero il rilievo dello stato di fatto e così la rappresentazione tridimensionale parametrica di questo, ovvero il modello *as is*. A partire da quest'ultimo, modellato secondo le normative ed i linguaggi di interoperabilità e condivisione dati, è possibile distinguere diversi Livelli tematici, in funzione delle analisi da dover effettuare sul manufatto. In quest'ottica dunque, la rappresentazione sul modello BIM dell'affidabilità oggettiva degli elementi modellati (il cosiddetto *Level of Reliability*, LOR), nonché la rappresentazione delle fasi edilizie

dell'oggetto modellato (*Level of Evolution*, LOE) ed il poco fa descritto Livello di dettaglio (LOD), divengono *Thematics Level*, ovvero Livelli Tematici dello stesso modello BIM. A seguito di questa riflessione è stato elaborato una schema grafico riassuntivo a partire da quello presente nella norma UNI 11337 – 4:2017 (fig.1.11).

1.4 La questione interoperabilità

La maggior parte dei progetti che riguardano l'architettura, soprattutto se appartenente alla sfera del patrimonio storico costruito, vedono la collaborazione di differenti figure tecnico professionali, che lavorano assieme sviluppando settori specifici di una stessa opera: storici e archeologi si occupano delle fasi iniziali di indagine e ricerca storica, architetti ed ingegneri intervengono nelle fasi di progettazione e cantierizzazione insieme con altre figure specialistiche come tecnici degli impianti etc. Il lavoro in team interdisciplinare è una pratica ormai diffusa nel settore delle costruzioni, tuttavia ancora oggi si fa fatica nello scambio di dati ed informazioni tra i progettisti, operazione che non è ancora arrivata a definire una pratica consolidata. In questo senso la metodologia BIM diviene di grande aiuto, poiché permette la collaborazione, sin dalla fase progettuale a diversi livelli, seguendo differenti ordini di legami ed interazioni. Il processo rende possibile concordare e formalizzare le modalità di condivisione dei dati, in modo tale che avvenga in modo consistente, affidabile e rapido.

Come evidenziato dalle parole di Livio Sacchi in *Il punto sul BIM*: “Viene così data vita ad una nuova progettazione integrata, che consente ad architetti, strutturisti, impiantisti, paesaggisti, interior designer, costruttori, produttori, committenti, investitori, gestori, fruitori, manutentori ecc. di condividere l'intero processo e dialogare facilmente.

Al concetto di rappresentazione si sostituisce quello di simulazione”.

Una delle possibilità che la piattaforma *BIM authoring* Revit consente per la suddivisione del lavoro nel team è la creazione di un *Workset*. La condivisione del lavoro infatti all'interno della piattaforma è un metodo di progettazione che consente a più membri di un team di lavorare allo stesso modello di progetto contemporaneamente; in numerosi progetti infatti, i membri del team lavorano su aree funzionali specifiche. (fig.1.12). Revit consente di suddividere i progetti in *workset*,

quindi attraverso un sistema di *worksharing*, per soddisfare le esigenze di lavoro; è possibile attivare la condivisione del lavoro per creare un modello centrale, in modo che i membri del team possano modificare simultaneamente una copia locale del modello centrale.

In questo modo il gruppo di progettazione ha la possibilità di dividere il progetto in gruppi di lavoro, associandovi la proprietà e la modifica degli elementi. Più figure possono collaborare ed utilizzare lo stesso modello, ma non sempre possono modificare specifici *workset*; questo garantisce il massimo controllo delle operazioni e vengono evitati così problemi di conflitti in fase di sovrapposizione e progettazione. La suddivisione del modello in *workset* viene effettuata direttamente dagli operatori, e può essere effettuata su base disciplinare (nel caso di distinzione tra struttura, architettura, impianti etc.), tematica, o spaziale (distinzione per ambiente esterno-interno, per piani, per particelle nel caso di un complesso architettonico), in modo da assegnare correttamente i compiti nella modellazione.

L'utilità principale è data dal fatto che i diversi operatori lavorano in modo parallelo su *workset* separati su dei file locali che, di volta in volta, vengono sincronizzati con il file centrale, trasmettendo tutte le modifiche effettuate. Il modello centrale è il modello principale per un progetto condiviso. Questo modello memorizza le informazioni di proprietà relative a tutti gli elementi del progetto e agisce inoltre come punto di distribuzione di tutte le modifiche pubblicate nel file. Ciascun utente deve salvare una copia del modello centrale localmente, lavorare sul file da questa posizione, quindi eseguire la sincronizzazione con il modello centrale per rendere le proprie modifiche accessibili agli altri membri del team. I file locali sono versioni individuali del modello connesse al file centrale che può essere condiviso in differenti modalità: metodo di condivisione del lavoro su server, in cui il modello centrale viene memorizzato in un *Revit Server*¹⁸, che comunica con i membri del team su una rete WAN direttamente o tramite un *Revit Server Accelerator*¹⁹; metodo di condivisione del lavoro basato su file, in cui il modello centrale viene memorizzato in un file in una posizione di rete; infine metodo di condivisione del lavoro nel *cloud*. In questa ultima soluzione i membri del team utilizzano *Revit Cloud Worksharing* per apportare modifiche al modello nello stesso momento.

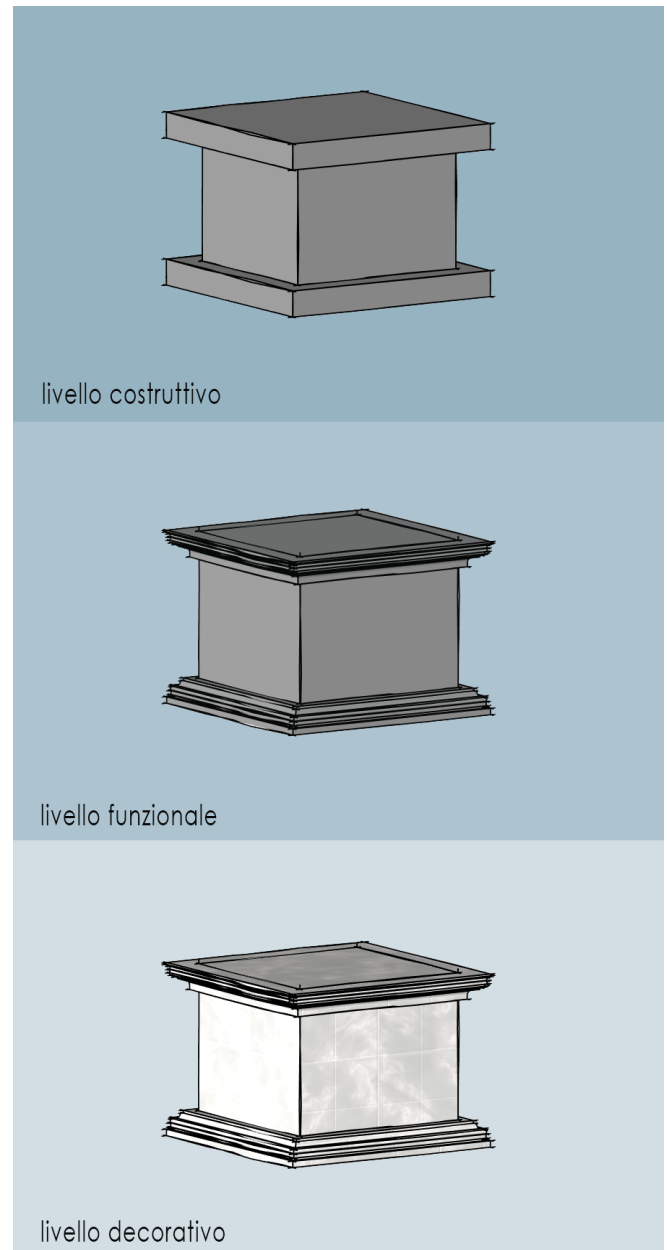
Un altro apporto all'interoperabilità del sistema è dato dal-

la possibilità di esportazione del modello Revit in formato IFC²⁰. Il formato IFC consente lo scambio di dati tra diversi software CAO e BIM presenti sul mercato (fig.1.13).

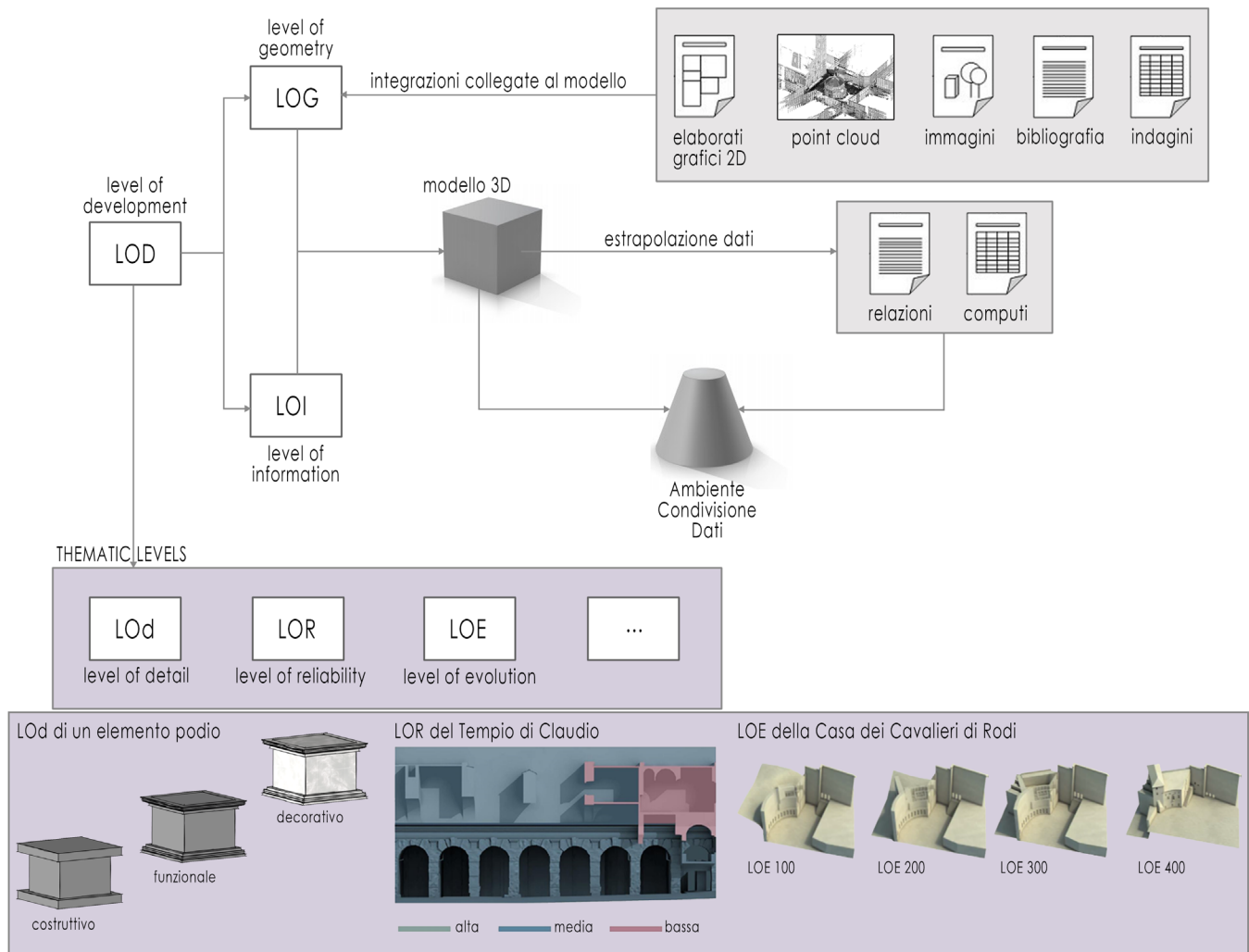
Si tratta di un formato file neutrale e aperto, che non è controllato da un singolo fornitore o gruppo di fornitori, ma è basato su oggetti con un modello di dati sviluppato per facilitare l'interoperabilità tra le discipline di architettura, ingegneria e costruzione dell'industria dell'edilizia. La specifica del modello dati IFC è stata riconosciuta e registrata dalla ISO come norma internazionale ISO 16739:2013.

Affinché il sistema funzioni come previsto, Revit propone una serie di parametri che consentono di definire il comportamento da adottare per favorire l'esportazione; tali parametri sono raggruppati nelle cosiddette tabelle delle corrispondenze. Il principio è semplice: mentre il layer software ha il compito di esportare il modello Revit in formato IFC, in funzione dei componenti del progetto, la tabella delle corrispondenze consente di definire le regole che indicano che per una categoria di Revit (ad esempio muro, solaio, tetto) è necessario esportare un determinato tipo di dati nel file IFC. Se si lavora in modo totalmente isolato su un progetto, la probabilità che sia necessario ricorrere al formato IFC è bassa, a meno che non si voglia, ad esempio, eseguire dei calcoli di efficienza energetica o tabelle dei carichi in un altro software; se si fa parte di un team che collabora ad un progetto BIM, invece, è certo che verrà utilizzato il formato di file IFC²¹. Poiché vi sono numerose discipline coinvolte in un progetto edilizio, è inevitabile che tutte queste strutture utilizzino software diversi e che prima o poi si presenti il problema dell'interoperabilità. Per creare un modello BIM, è necessario utilizzare un linguaggio neutro noto a tutti, e in grado di prendere in considerazione diverse discipline. È questo dunque il ruolo del formato IFC: ogni operatore esporterà il modello BIM della rispettiva disciplina; a quel punto sarà possibile consolidare tutti i file per ottenere il modello BIM del progetto pluridisciplinare nel suo insieme (fig.1.13).

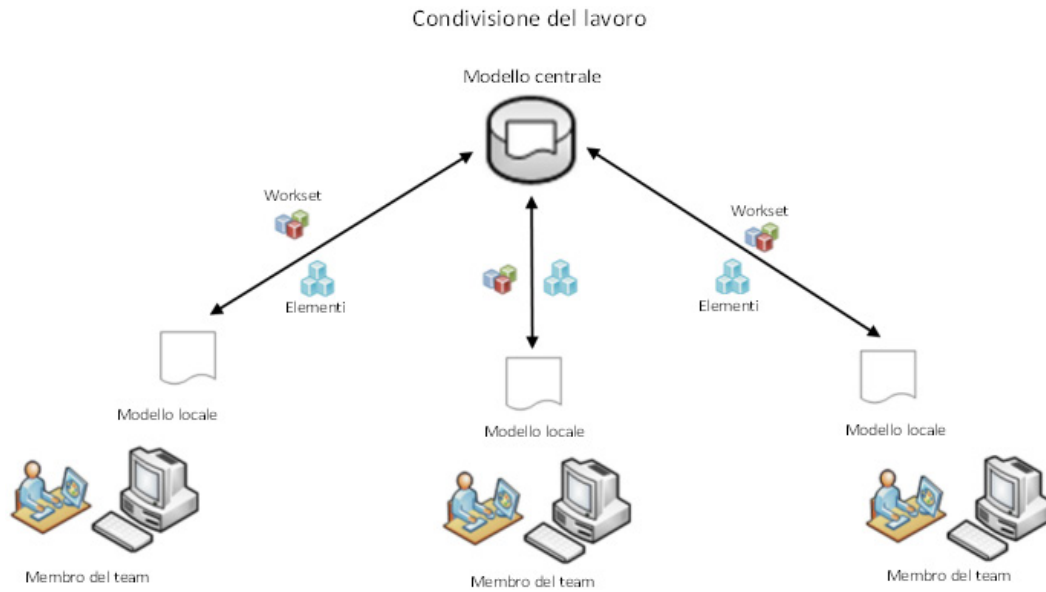
La tradizionale separazione delle competenze viene rimpiazzata dalla loro integrazione, sconvolgendo identità e assetti precostituiti (Sacchi, 2016).



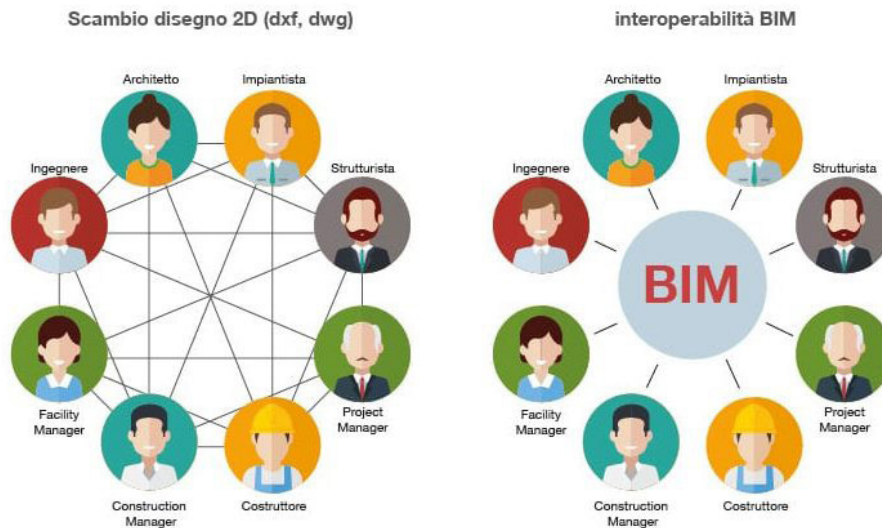
1.10/ I livelli di dettaglio (LOd) associati ai livelli di scomposizione dell'ordine architettonico nella modellazione in Autodesk Revit 2019 di un podio. Si noti come nel passaggio dal livello funzionale al decorativo viene aggiunta l'informazione circa il materiale dell'oggetto.



1.11/ Ridefinizione del data flow del processo BIM attraverso i LODs e rappresentazione dei livelli tematici. LOd di un podio, elaborazione dell'autore; LOR del tempio del Divo Claudio da ATTENNI, 2019, LOE della Casa dei cavalieri di Rodi da TACCHI, 2014.



1.12/ Il sistema di condivisione di lavoro in Autodesk Revit grazie al workset. Immagine tratta dal sito Autodesk..



1.13/ Confronto tra lo scambio di dati 2D e lo scambio di dati nel processo BIM tramite l'utilizzo del formato di condivisione IFC. Immagine tratta dal web.

Note

- 1 Al riguardo si intende il settore disciplinare ICAR 17.
- 2 Il Dlgs 50/2016, ovvero il Codice degli appalti, all'art. 23 tratta dei livelli della progettazione per gli appalti, per le concessioni di lavori nonché per i servizi, e al comma 13 cita: "Le stazioni appaltanti POSSONO richiedere per le nuove opere nonché per interventi di recupero, riqualificazione o varianti, prioritariamente per i lavori complessi, l'uso dei metodi e strumenti elettronici specifici di cui al comma 1, lettera h). Tali strumenti utilizzano piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietarie [IFC], al fine di non limitare la concorrenza tra i fornitori di tecnologie e il coinvolgimento di specifiche progettualità tra i progettisti. L'uso dei metodi e strumenti elettronici può essere richiesto SOLTANTO dalle stazioni appaltanti dotate di personale adeguatamente formato. Con decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, da adottare entro il 31 luglio 2016, anche avvalendosi di una Commissione appositamente istituita presso il medesimo Ministero, senza oneri aggiuntivi a carico della finanza pubblica sono definiti le modalità e i tempi di progressiva introduzione dell'obbligatorietà dei suddetti metodi presso le stazioni appaltanti, le amministrazioni concedenti e gli operatori economici, valutata in relazione alla tipologia delle opere da affidare e della strategia di digitalizzazione delle amministrazioni pubbliche e del settore delle costruzioni. L'utilizzo di tali metodologie costituisce parametro di valutazione dei requisiti premianti di cui all'articolo 38".
A seguito del Dlgs. 50/2016, è stato emanato il Decreto Attuativo, detto Decreto BIM (D. M. 560/2017), da attuazione delle disposizioni di cui all'art. 23, che disciplina gli adempimenti necessari, tempi e soglie di introduzione e prevalenza contrattuale del BIM, e un ulteriore Bozza di Regolamento art. 82 emanata a Maggio del 2020, in cui viene ribadito l'obbligo dell'uso del BIM nella fase di progettazione, costruzione e gestione delle opere e relativa verifica. Tra le prime iniziative di ricerca sul BIM non possiamo fare a meno di menzionare il progetto INNOVance, finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico, ovvero una piattaforma collaborativa di gestione delle informazioni della filiera. L'obiettivo del progetto è la creazione di una prima banca dati italiana in materia di costruzioni, definendo un codice univoco di classificazione per le costruzioni, con una scheda tecnica standardizzata per ogni prodotto, servizio o attività legata a questo specifico campo di applicazione, nonché lo sviluppo di un portale web. Si veda i link <http://innovance.it/it/index.html>
- 3 Si veda al riguardo il *Charter on the Preservation of Di-*

gital Heritage, 2003.

- 4 Si intende metodologie di rilevamento architettonico non distruttivo, come topografia, scansione laser, fotogrammetria digitale etc. che vengono integrati al fine di favorire la conoscenza profonda del manufatto architettonico.
- 5 Alcuni autori hanno contribuito a costruire un ampio e strutturato stato dell'arte nelle acquisizioni laser scanner e nell'utilizzo di questo tipo di dati per le analisi degli organismi architettonici. Al riguardo si veda Bianchini C., Inglese C., Ippolito A., 2017. *I Teatri del Mediterraneo come esperienza di rilevamento integrato / The Theatres of Mediterrean as integrated survey experience*. Roma, Sapienza University Press, Bianchini C., Senatore L. J., 2011. "Metodi speditivi per la visualizzazione ed esplorazione interattiva di nuvole di punti", in *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno e la modellazione dell'architettura e della città*, Ricerca PRIN, e Clini P., Nespeca R., Bernetti A., 2013. "All in one laser scanning methods for surveying, representation and sharing information on archeology. Via Flaminia and the Furlo tunnel complex", in *International archives of photogrammetry, remote sensing and spacial information sciences*.
Altri autori hanno lavorato sullo sviluppo di modelli digitali per il costruito storico soffermandosi sull'acquisizione tridimensionale ed il controllo metrico dei modelli da utilizzare all'interno di geo database, come Gaiani M., Apollonio F. I., Clini P., Quattrini R., 2015. *A Mono-instrumental approach to High quality 3D Reality based semantic models. Application on the Palladio Library*, in *Digital Heritage IEEE*, Granada.
- 6 Nel 2012 Simone Garagnani sviluppa un *plug in* per *Autodesk Revit* grazie al quale possono essere importate all'interno della piattaforma BIM nuvole di punti decimate; l'operazione consente la trasformazione in *snap* dei punti e degli elementi della nuvola, favorendo la definizione delle geometrie per sovrapposizione. Il nome "Greenspider" deriva dalla funzione del *plug-in*, che connette punti nello spazio come se fossero ideali tele di ragno, favorendo la generazione di oggetti intelligenti destinati inizialmente ad analisi di sostenibilità energetica. Questo *plug-in* è scritto in C# con Revit API 2012.
- 7 In questo ambito di ricerca vengono utilizzati degli script per la realizzazione di forme. Si veda al riguardo Sampietro F, Masciopinto M. L., Cincotta I. W. J., Bergonzoni G., 2018. "Computational design nel processo HBIM", in: *3D Modeling & BIM 2018 Nuove Frontiere*. pp 318–333.

8 La creazione delle famiglie parametriche nidificate è volta in questo caso alla creazione di una libreria di oggetti, un vocabolario H-IFD (*Heritage International Framework for Dictionaries*). Alcuni esempi di *plug-in* usati per implementare il concetto di *HIFD* sono *Point Tools* (per Rhino) e *Leica tool* (per Revit). Al riguardo si consiglia la lettura di 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*. II: pp. 215–221.

9 Si veda al riguardo lo studio emblematico di Oreni et. Al sulla Basilica di Collemaggio a L'Aquila. Oreni D., Brumana R., Della Torre S., et al 2014. "Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)", in *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci II-5*, pp. 267–273.

10 Si fa qui riferimento al LOR, *Level of Reliability*, già teorizzato da Saverio Nicastrò nella sua tesi di Dottorato. Si vedano al riguardo i contributi: BIANCHINI, C., NICASTRO, S., "La definizione del Level of Reliability: un contributo alla trasparenza dei processi historic – BIM", in *3D modeling & BIM, applicazioni e possibili sviluppi futuri*, EMPLER, T., (a cura di), Roma, Facoltà di Architettura Sapienza Università di Roma, 18 - 19 Aprile 2018, pp. 209 – 225. NICASTRO, S., *L'integrazione dei sistemi di Building Information Modeling nei processi di conoscenza del Patrimonio Culturale. Premesse teoriche, criteri metodologici e introduzione del Level of Reliability*, Tesi di Dottorato di Ricerca - ciclo XXX, 2014 – 2017, Sezione B – Disegno dell'architettura, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura.

11 La formulazione di questo documento si deve alle normative britanniche nel settore delle costruzioni, ed in seguito è stato accolto anche a livello internazionale. Si vedano al riguardo BS-PAS 1192-2:2013, BS-PAS 1192-3:2014, BIM Toolkit e CIC BIM Protocol:2013, documenti e riferimenti basilari sul tema di BIM prodotti dalle organizzazioni *Royal Institute of British Architects (RIBA)*, *UK BIM Task Force Group* e *British Standard*.

12 NBS BIM Toolkit. Si consulti il riferimento internet <https://toolkit.thenbs.com/>

13 Il sistema BIM anglosassone USA, nel campo della produzione normativa in questo campo, può contare su quattro principali organizzazioni appositamente create, ovvero *American Institute of Architects (AIA)*, *National Institute of Building Sciences- buildingSMART Alliance - (NIBS)*, *US chapter of buildingSMART Inter-*

national (BIMforum) e *US Army Corps of Engineers (USACE)*. Un ulteriore documento prodotto su questo argomento è *BIMforum LOD specification(2013-2016)*.

14 In questo caso si fa riferimento alla normativa AIA E203–2013, *Building Information Modeling and Digital Data Exhibit*.

15 Unico caso in cui è stato menzionato un acronimo per il level of detail si è riscontrato nell'articolo di Centofanti et al., 2016.

16 In questo livello le parti si caratterizzano per avere funzioni specializzate, ciò che giustifica il nome dato al loro raggruppamento.

17 La ricerca condotta in questo senso mira a definire i principali BIM uses, ovvero modelli BIM distinti, individuando lo scopo principale di tali modelli. I modelli vengono pertanto distinti in funzione dello scopo specifico (la finalità) per il quale vengono realizzati; è inoltre possibile definire diverse altre caratteristiche del modello che possono essere comunicate nello stesso BIM use. Scopi e caratteristiche possono essere definiti a vari livelli, a seconda del livello di specificità richiesto per la modellazione. Si veda al riguardo il BIM USE CLASSIFICATION SYSTEM AND STRUCTURE chiarito in Kreider, G., Messner, I., (2013). *The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM uses*, The Pennsylvania State University. University Park, PA, USA. Il paper è disponibile al link https://www.bim.psu.edu/download/the_uses_of_bim.pdf

18 Qualsiasi server che ospita modelli centrali nella condizione del lavoro basata su server. Revit Server è anche il nome dell'applicazione che controlla la comunicazione tra i membri del team e i modelli centrali in una rete di Revit Server e Accelerator.

19 Si tratta di un server locale in grado di aggregare i dati provenienti da più di un Revit Server. Se i membri del team possono connettersi ai Revit Server direttamente, la connessione tramite un Accelerator consente di ottimizzare le prestazioni.

20 La struttura del database del formato IFC deriva dal formato STEP, descritto nella norma ISO 10303. Il formato STEP funge da riferimento nel mondo dell'edilizia industriale e consente lo scambio della geometria e dei dati necessari alla costruzione. Si tratta di un formato neutro, indipendente dal software utilizzato. Al giorno d'oggi, la norma IFC (Industry Foundation Class) viene sviluppata e gestita da *buildingSMART International (ex IAI, International Alliance for Interoperability)*, un'organizzazione indipendente non a scopo di lucro. L'IAI nasce ufficialmente il 16 maggio 1996 a Londra, in occasione di una riunione tra rappresentanti di America del Nord, Europa e Asia. Al fine di ottenere una copertura internazionale e di consentire così il coordinamento degli stan-

dard di sviluppo, sono state create delle rappresentanze locali. L'11 giugno 2008 l'IAI cambia nome e diventa buildingSMART International; l'idea è migliorare la comunicazione in merito agli obiettivi dell'organizzazione. La parola "building" rappresenta l'intero ambiente di costruzione, mentre "SMART" rappresenta il modo in cui si costruisce: l'intelligenza, l'interoperabilità, la costruzione in team, la creazione e lo sfruttamento migliore di edifici. Il formato IFC è stata la prima norma sviluppata da buildingSMART.

21 IFC definisce più formati di file che possono essere utilizzati, sostenendo varie codifiche degli stessi dati: IFC-SPF è un formato di testo definito dalla ISO 10303-21 (STEP-File), in cui ogni riga consiste tipicamente di un singolo oggetto registrato e ha estensione .ifc; questo è il formato IFC più utilizzato, con il vantaggio di avere dimensioni compatte ma con un testo ancora leggibile.

IFC-XML è un formato XML definito dalla ISO 10303-28 (STEP-XML), con estensione .ifcXML; questo formato è adatto per l'interoperabilità di strumenti XML e lo scambio di modelli di edifici parziali. A causa delle grandi dimensioni dei modelli tipici di un edificio, questo formato è meno comune nella pratica.

IFC-ZIP è un formato ZIP compresso costituito da un file IFC-SPF incorporato e con estensione .ifcZIP.

IFC definisce un modello entità-relazione basata su EXPRESS composta da diverse centinaia di enti organizzati in maniera gerarchica basati su oggetti. Alcuni esempi di entità sono elementi costruttivi come per esempio *IfcWall*, elementi geometrici, come *IfcExtrudedAreaSolid* e costrutti di base come *IfcCartesianPoint*. La metodologia IFC divide tutte le entità in "radicate" e "non radicate". Le entità radicate (*IfcRoot*) hanno un concetto di identità, insieme ad attributi di nome, descrizione, e controllo di revisione; le entità non radicate invece non hanno un'identità e le istanze esistono solo se si fa riferimento, direttamente o indirettamente, ad un'istanza radicata. *IfcRoot* è suddiviso in tre concetti astratti: definizioni di oggetti, relazioni e insiemi di proprietà: *IfcObjectDefinition* cattura presenze e tipi di oggetti materiali; *IfcRelationship* cattura le relazioni tra gli oggetti; infine *IfcPropertyDefinition* cattura proprietà dinamicamente estensibili sugli oggetti.

2. Il Battistero di San Giovanni a Firenze: la documentazione di un complesso monumentale

“Guardare il Battistero comporta una serie di emozioni e di inquietudini che solo poco alla volta si fanno chiare. Quell’edificio ottagonale è di una durezza assoluta, un diamante di intelligenza”.

Giorgio Manganelli, *La favola pitagorica*, 2006.

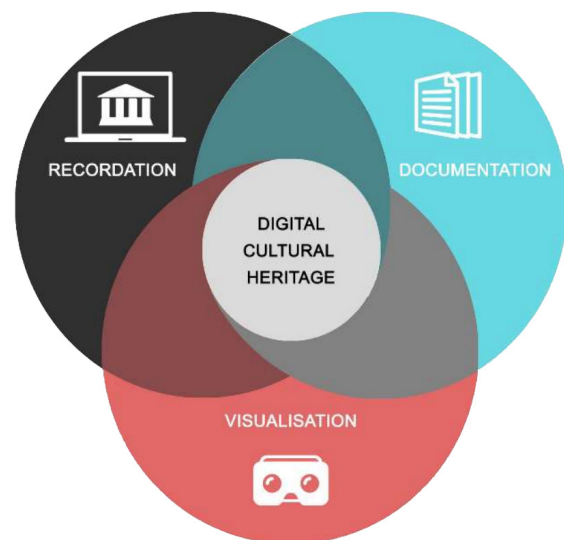
La costruzione di modelli secondo processi BIM risponde alla necessità di simulare la realtà o di prefigurare nuovi sviluppi progettuali o di gestione dei manufatti architettonici. La composizione degli oggetti digitali tuttavia deve rispondere a specifici requisiti, relazionati sia alla definizione ontologica degli stessi quanto alla definizione parametrica delle variabili dal punto di vista geometrico (Attenni, 2019). I benefici dell’efficacia di questa metodologia applicata al patrimonio storico costruito riguardano in primo luogo l’utilizzo di modelli digitali informativi complessi, che legano la simulazione dell’architettura alla sua lettura tramite gli elementi costruttivi. Ruolo fondamentale in questo caso è dato alla conoscenza. Fondamentale in ogni caso è definire lo scopo per cui i modelli BIM vengono costruiti (fig.1.1), individuando il corretto *modus* di scomposizione dell’oggetto o quello maggiormente adeguato rispetto all’obiettivo prefissato (Attenni, 2019).

La scelta del caso studio al quale applicare il processo HBIM ha riguardato il Battistero di San Giovanni a Firenze essenzialmente per due motivazioni: la prima, di carattere storico-scientifico, in quanto il monumento ha interessato e continua tutt’oggi ad alimentare un ampio dibattito sulla sua storia, documentazione e conservazione, in quanto caratterizzato da molteplici fasi edilizie, da numerosi studi ed indagini diagnostiche, restauri e discussioni ancora aperte circa l’epoca di datazione; seconda, ma non meno importante, la possibilità di iniziare una collaborazione con il laboratorio CISA3 della University of California San Diego sui temi della digitalizzazione del patrimonio storico monumentale attraverso il

rilievo massivo integrato e la condivisione dei dati, dettata soprattutto dalla possibilità di utilizzare i dati di rilievo del Battistero di San Giovanni raccolti dalla UCSD durante una campagna di acquisizioni e indagini diagnostiche nel 2013.

Il focus sul quale la ricerca si è concentrata in fase di avvio ha caratterizzato lo studio di un approccio metodologico alla modellazione BIM del patrimonio storico costruito, baipassando la parte di acquisizione dei dati, ad oggi procedura ormai consolidata e condivisa in campo scientifico; si è pertanto lavorato alla gestione e sistematizzazione dei dati ottenuti in funzione di una migliore fruizione nella piattaforma BIM *authoring*.

Approcciare un oggetto architettonico monumentale implica sempre una prima, approfondita e lunga fase di studio e di raccolta del materiale storico, iconografico e bibliografico al



2.1/ I diversi output del Patrimonio Culturale Digitale. Immagine tratta da Ruffino et al., 2019, p. 141.

riguardo, senza tralasciare la vera e propria fase conoscitiva che è il sopralluogo e la vista diretta dell'oggetto. Una campagna di documentazione fotografica è stata effettuata nell'Aprile 2019, dove si sono visitati contestualmente il Battistero, il Duomo di Santa Maria del Fiore, il tessuto edilizio limitrofo, poiché frutto di un progetto di sistemazione unitario, ed il Museo dell'Opera di Santa Maria del Fiore¹ nel quale sono custoditi svariati reperti appartenenti al monumento.

2.1 La piazza del San Giovanni e le sue coordinate storiche

Le prime impressioni di un visitatore che “spunta” da una delle vie circostanti nella Piazza del Duomo sono relative alla percezione dello spazio e senza dubbio del colore. La piazza infatti già all'epoca della sua costruzione, doveva dare l'impressione “*Come se fosse scesa dal cielo [...] I basamenti... sono adorni di ogni specie di pietre preziose. Il primo è di diaspro, il secondo di zaffiro, il terzo di calcedonio, il quarto di smeraldo*”².

La colorata bellezza della piazza adombra il rinnovamento spirituale anelato dai fiorentini credenti che proiettarono sulla città, segnata da rivalità e guerre fratricide, l'immagine onirica della “Nuova Gerusalemme” tratta dalla Bibbia (Verdon, 2016).

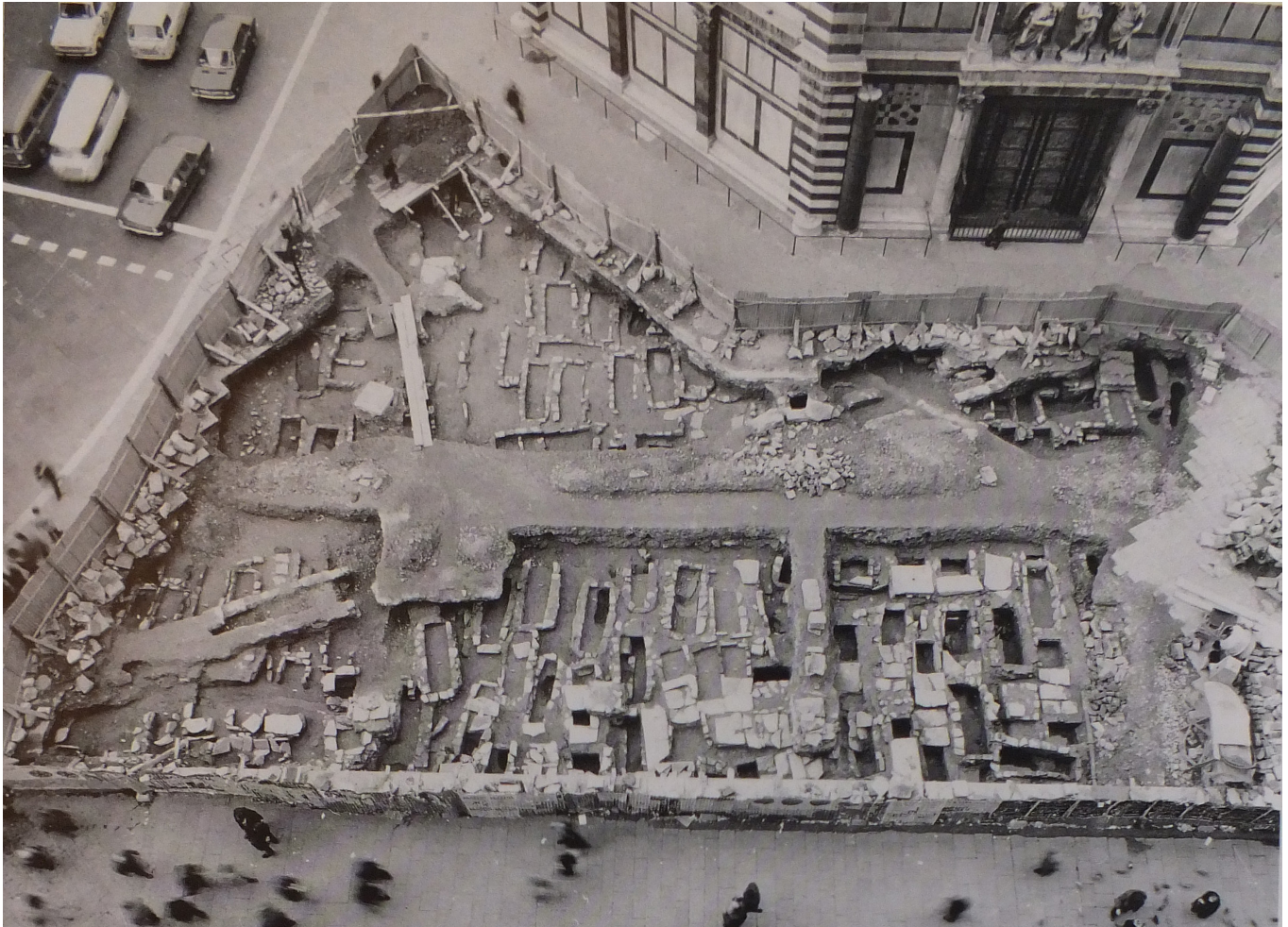
I materiali impiegati parlano inoltre di ingenti risorse, dell'epoca in cui Firenze era una delle maggiori città industriali, commerciali e bancarie d'Europa, e i monumenti che adornano la piazza furono realizzati proprio in quel fiorentino periodo. L'area della Piazza del Duomo, che nella sua parte nord è chiamata “Piazza San Giovanni” è il più antico spazio di rappresentanza della Firenze post-classica, poiché, ricavata dall'angolo nord-est della *Florentia* romana, si sviluppa dentro e fuori le mura classiche. Questo quartiere residenziale romano venne trasformato in un'area aperta attorno a strutture ecclesiastiche già a partire dal V secolo, in cui si ipotizza la costruzione di un piccolo battistero e di una chiesa³ sotto l'attuale San Giovanni e Santa Maria del Fiore; nell'interstizio di piazza fra di essi sorgeva un cimitero in uso fino al XIV e che è stato rintracciato dagli scavi archeologici del Galli prima⁴ e da quelli più recenti della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana tra il 1971 ed il 1973 e successivamente⁵. (fig.2.2).

La prima cattedrale e il palazzo vescovile si trovavano inizialmente fuori dalle mura, dove oggi sorge la Basilica di San

Lorenzo; tra l'VIII ed il IX secolo queste funzioni furono trasferite dentro la città. (fig.1.3). Dall'XI al XIII secolo la piazza cambiò aspetto grazie all'ingrandimento e successivo rivestimento del Battistero con i preziosi marmi bicromi, nonché la costruzione del portico della chiesa di Santa Reparata e l'Ospedale di San Giovanni. La piazza mutò ancora una volta nel 1296 quando venne demolita la chiesa di Santa Reparata e l'Ospedale per costruire al loro posto la nuova cattedrale di enormi dimensioni. Dal 1300 iniziò lo sforzo artistico delle maestranze di adornare i monumenti della piazza con sculture ed opere pittoriche e questo *input* continuò anche per il primo 400 con le porte bronzee del Battistero e l'aggiunta di altre statue per il Duomo. Il Cinquecento inaugurò una stagione di ammodernamenti, dovuta al coevo mutamento del gusto artistico ma anche allo sviluppo della seconda piazza della città, quella “della Signoria”, che divenne un vero e proprio museo a cielo aperto di opere contemporanee. La facciata del Duomo fu avviata nel XIV secolo e poi smantellata nel 1587; a partire da quell'anno si moltiplicarono i progetti per una facciata moderna e vennero costruiti grandi modelli lignei alcuni dei quali sono conservati nel Museo dell'Opera del Duomo. Nessuno dei progetti fu portato a termine e si giunse così all'Ottocento, con una facciata intonacata e dipinta nel 1688 su disegno di Ercole Graziani. (fig.2.4). Fu solo nel XIX secolo che la piazza del Duomo assunse la sua forma odierna. (fig.2.5).

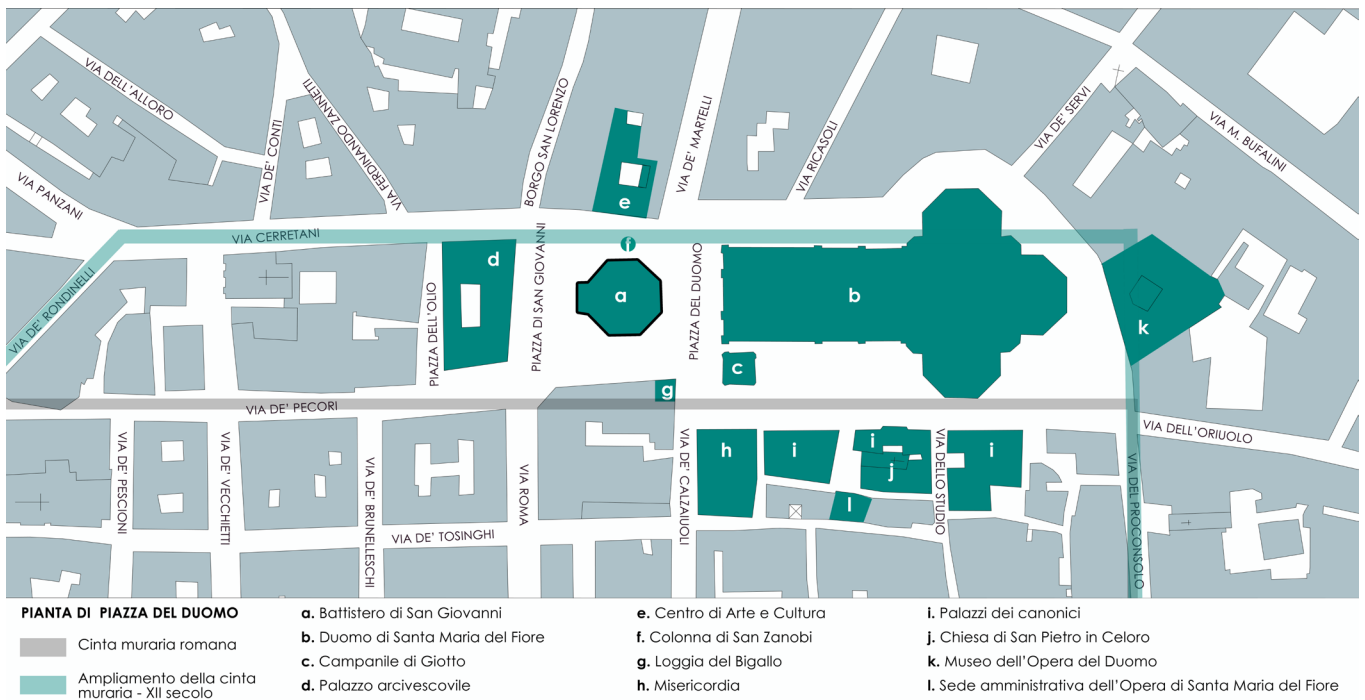
2.2 Il Battistero di San Giovanni: la struttura.

E' significativo che nella Divina Commedia, fra le ricorrenti deprecazioni su Firenze, una citazione commossa sia dedicata da Dante al “mio bel San Giovanni”. Il Battistero non era solo parte della sua storia personale, ma monumento simbolo di un'intera città, nel quale la Firenze medievale vedeva rappresentata la propria identità religiosa, civica ed artistica (Giusti, 2013). Nel suo splendore si riassumevano i valori di fede e potenza, e già al tempo di Dante il monumento era preziosamente incrostato di marmi e accoglieva il proprio visitatore sotto la grandiosa cupola rilucente di mosaici. “*Qua vengano tutti coloro che vogliono vedere cose mirabili / e vedano quelle cose che vedute sono in grado giustamente di piacere / Firenze florida fornita di tutti i beni [...]*”; così citava l'iscrizione in latino posta sul pavimento marmoreo intarsiato del Duecento di fronte all'accesso principale e visibile tutt'oggi.



2.2/ Gli scavi condotti tra il 1971 e il 1973 dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana nell'area della Piazza San Giovanni compresa tra Santa Maria del Fiore e il Battistero. Firenze, 1972. Immagine tratta da Toker, p. 34. Nella foto emerge la grande quantità di sepolture che si accumulano di fronte all'ingresso ovest del Battistero. La notizia di queste presenze è sottolineata anche dal Decameron di Giovanni Boccaccio (Decameron, giornata VI, novella 9), dove si narra che molti sarcofagi circondavano il San Giovanni prima che fossero posti in Santa Reparata. "Ora, avvenne un giorno che, essendo Guido partito d'Orto San Michele e venutosene per lo Corso degli Adimari infino a San Giovanni, il quale spesse volte era suo cammino; essendo arche grandi di marmo, che oggi sono in Santa Reparata, e molte altre dintorno a San Giovanni, ed egli essendo tra le colonne del porfido che vi sono, e quelle arche e la porta di San Giovanni, che serrata era; messer Betto con sua brigata a caval venendo su per la piazza di Santa Reparata, veggendo Guido là tra quelle sepolture, dissero: — Andiamo a dargli briga [...]."

Il cimitero del Battistero è citato anche in una serie di atti promulgati dal 1290 con cui si vietava di porre tombe, sepolture e sarcofagi nell'area.



2.3/ Schema raffigurante la piazza del Duomo con indicazione degli edifici principali e dell'ampliamento delle mura romane verso l'esterno.



2.4/ Vicende della facciata di Santa Maria del Fiore. Da sinistra: Franco Gizdulich, 1999-2000. Modello della facciata medievale del Duomo di Arnolfo di Cambio. Firenze, Museo dell'Opera del Duomo; Bernardino Poccetti, 1587. Facciata incompiuta di Santa Maria del Fiore. Firenze, Archivio dell'Opera di Santa Maria del Fiore; Bernerdo Buontalenti, 1587-1589. Modello ligneo per la facciata di S. Maria del Fiore. Firenze, Museo dell'Opera del Duomo; Foto in bianco e nero del 1860 con ancora visibili tracce della facciata dipinta del 1688; Bernerdo Sansone Sgrilli, 1733. Facciata di Santa Maria del Fiore intonacata e dipinta nel 1688 su disegno di Ercole Graziani in un incisione.



2.5/ Piazza del Duomo, 2020. Vista dall'angolo sud ovest di Piazza San Giovanni e vista dall'alto.

Il Battistero fiorentino, così come molte altre costruzioni simili, che si sono costruite nell'arco di diversi anni a partire dall'epoca cristiana, dal punto di vista geometrico è una struttura in muratura a pianta ottagonale⁶ piuttosto regolare, dove la struttura alterna lati senza aperture alla base a lati con portali; questa regolarità si interrompe solo, nel lato sud, in presenza dell'abside quadrangolare costruito nel XII secolo, la cosiddetta "scarsella"⁷. I lati dell'edificio, nonostante alcune irregolarità, presentano tutti la stessa lunghezza, che al livello del piano terra è di circa 13,5 metri. Lo spessore murario è pari a 3,5 metri in corrispondenza degli spigoli ed in generale ha un andamento costante. Anche la copertura è costituita da una pianta ottagonale; come è noto, la parte inferiore della stessa è stata costruita a filari di pietra disposti in maniera orizzontale, quella superiore invece con muratura di mattoni. Questa cupola, visibile solo dall'interno, è protetta all'esterno da un tetto a falde piane di forma piramidale ricoperto di lastre di marmo bianco; la connessione tra le due strutture è garantita da contrafforti in muratura (Bartoli et al., 2014) (fig.2.6). Dal punto di vista della statica dell'edificio si individuano due livelli in altezza: il primo si estende dal pavimento alla quota del matroneo interno, l'altro dall'estradosso del matroneo fino alla galleria; il percorso del matroneo rappresenta quindi il collegamento tra i due livelli e definisce un primo anello che corre lungo il perimetro, interrotto solo dalla scarsella. Un secondo elemento anulare è presente alla sommità del secondo livello e costituisce sia il supporto del-

la cupola che si imposta sul perimetro interno della sezione muraria che del tamburo appoggiato al perimetro esterno. (fig.2.7).

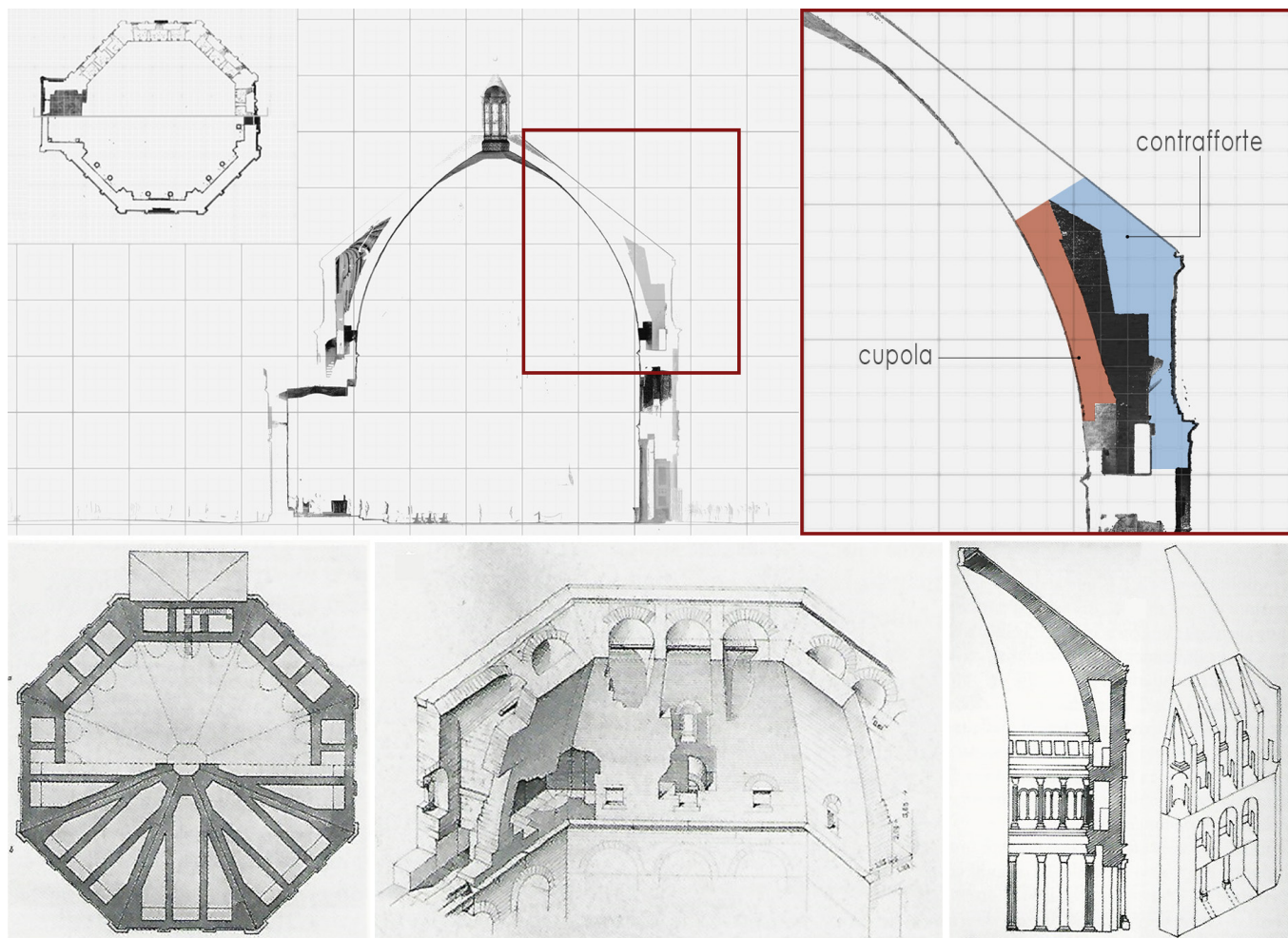
Grazie all'ausilio dei dati di rilievo, all'estrazione di piante prospetti e sezioni dalla nuvola di punti registrata e al confronto con le fonti bibliografiche ed iconografiche, è stato possibile intraprendere un'analisi geometrico proporzionale sul monumento, fissando alcune ipotesi circa la geometria utilizzata per la costruzione. L'unità di misura originaria, che con più probabilità è stata utilizzata per la costruzione, è il braccio fiorentino da muro⁸, con i suoi relativi multipli e sottomultipli. Il diametro medio esterno della costruzione è di 60 braccia, senza considerare il rivestimento marmoreo, con spessore medio delle murature di 6 braccia. In conclusione, nel Battistero fiorentino emerge la precisione e l'utilizzo di un "progetto" unitario, seppur con una evoluzione temporale, e viene posta in evidenza l'impossibilità che questa costruzione medievale fosse costruita in corso d'opera senza un riferimento geometrico originario (fig.2.8).

2.2.1 Dai rilievi alle ipotesi storico-costruttive.

Rilevare un edificio significa conoscerlo, e questo tipo di conoscenza "profonda" del manufatto architettonico è oggi alla base di qualunque studio e intervento sul patrimonio storico costruito. Il primo rilievo che abbia avuto questo carattere nella storia del Battistero è sicuramente quello condotto nel 1973 da Carla Pietramellara e pubblicato nel volume edito

a Firenze “*Battistero di San Giovanni a Firenze, rilievo e studio critico*” (fig.2.9). Tuttavia, gli studi sull’architettura del monumento e circa la sua origine sono documentati fino dall’inizio del Cinquecento, ed esistono molte altre rappresentazioni, eseguite nei secoli, che non possiamo ad oggi definire rilievi. La più antica pianta che si rintraccia del monumento risale al 1490 circa ad opera di Giuliano Da Sangallo (fig.2.10), e conservata nella Biblioteca Apostolica Vaticana⁹;

è improbabile si tratti del rilievo dello stato di fatto quanto più di un progetto che non conosciamo, poiché antica pratica era quella di sovrapporre lo stato di fatto con schizzi ed idee progettuali per quello o altri luoghi. Stesso vale per la pianta disegnata nel 1577 da Bernardo Buontalenti, realizzata in occasione del battesimo del figlio di Francesco I De Medici, intervento che comportò la distruzione del fonte battesimale trecentesco, e per la raffigurazione in pianta dei Cabrei Lo-



2.6/ La doppia struttura della copertura. In alto snapshots della sezione longitudinale del Battistero e dettaglio della struttura (software Viscore). In basso da sinistra: Heinrich Hubsch, 1862. Pianta delle strutture della cupola ai vari livelli; Joseph Durm, 1887. Studio assometrico delle strutture della cupola; Walter Horn, 1943. Schemi strutturali. Le immagini in basso sono tratte da Degl'Innocenti, 2014, p. 96.

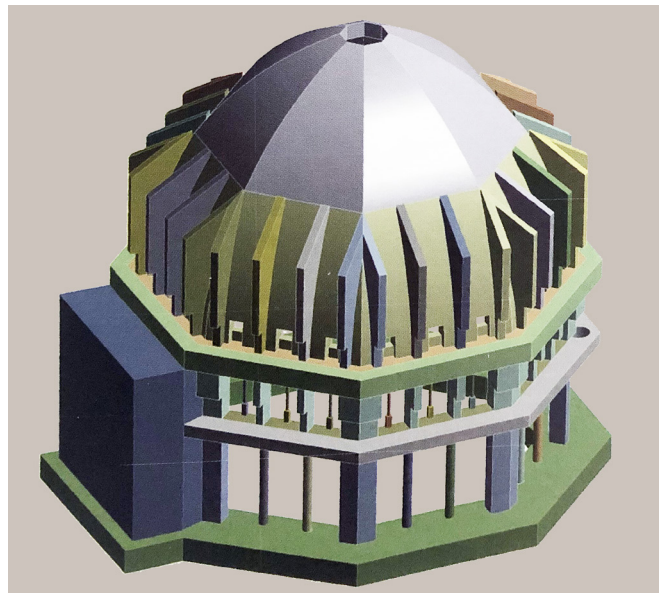
renesi, che invece avevano lo scopo di documentare il patrimonio immobiliare del XVII secolo, ma che offrono una soluzione di completa fantasia. Al contrario si direbbe invece per le tavole incise da Bernardo Sansone Sgrilli e pubblicate da Giovan Battista Nelli nel rilievo del 1733, al fine di documentare complessivamente le fabbriche dell'Opera di Santa Maria del Fiore, e accompagnate dalla descrizione di Girolamo Ticciati¹⁰.(fig.2.11). Seppur maggiormente dettagliate delle prime, i rilevatori hanno utilizzato delle misurazioni di massima e non hanno dato conto dell'articolazione architettonica del sottotetto e delle sue strutture. Nei secoli successivi, le pubblicazioni ebbero necessità di tramutarsi in un piccolo formato e di conseguenza i rilievi pubblicati all'interno ne risentirono per accuratezza e dettaglio, come quelli di Jean Baptiste Seroux d'Agincourt del 1823 e Charles Eduard Isabelle del 1843 (Degl'Innocenti, 2014) (fig.2.11). Ulteriori studi di questa fine secolo si arricchirono dal punto di vista dello studio della struttura del monumento, come quello di Heinrich Hubsch ed altri. Il Galli, che avrebbe potuto fornire molte informazioni sul rilievo della stato di fatto e delle strutture, condusse invece uno scavo sommario e non accuratamente documentato; Degl'Innocenti riporta che, per assecondare la volontà di mettere in luce la *Florentia* romana che si trovava a circa tre metri sotto il piano di calpestio, si scavò in profondità trascurando tutto ciò che si trovava nei livelli intermedi, presupponendo che si trattasse di sedimenti di epoche barbariche. In occasione dei restauri curati dall'OPA tra il 1938 ed il 1944, si procedette con un rilievo sistematico di carattere tecnico condotto dall'Ing. Sabatini; a questo negli anni successivi seguirono rilievi condotti dall'Università di Firenze. L'ultimo rilievo condotto è stato seguito con acquisizioni strumentali massive e pubblicato da Grazia Tucci¹¹.

2.2.2 Storiografia ed evoluzione edilizia.

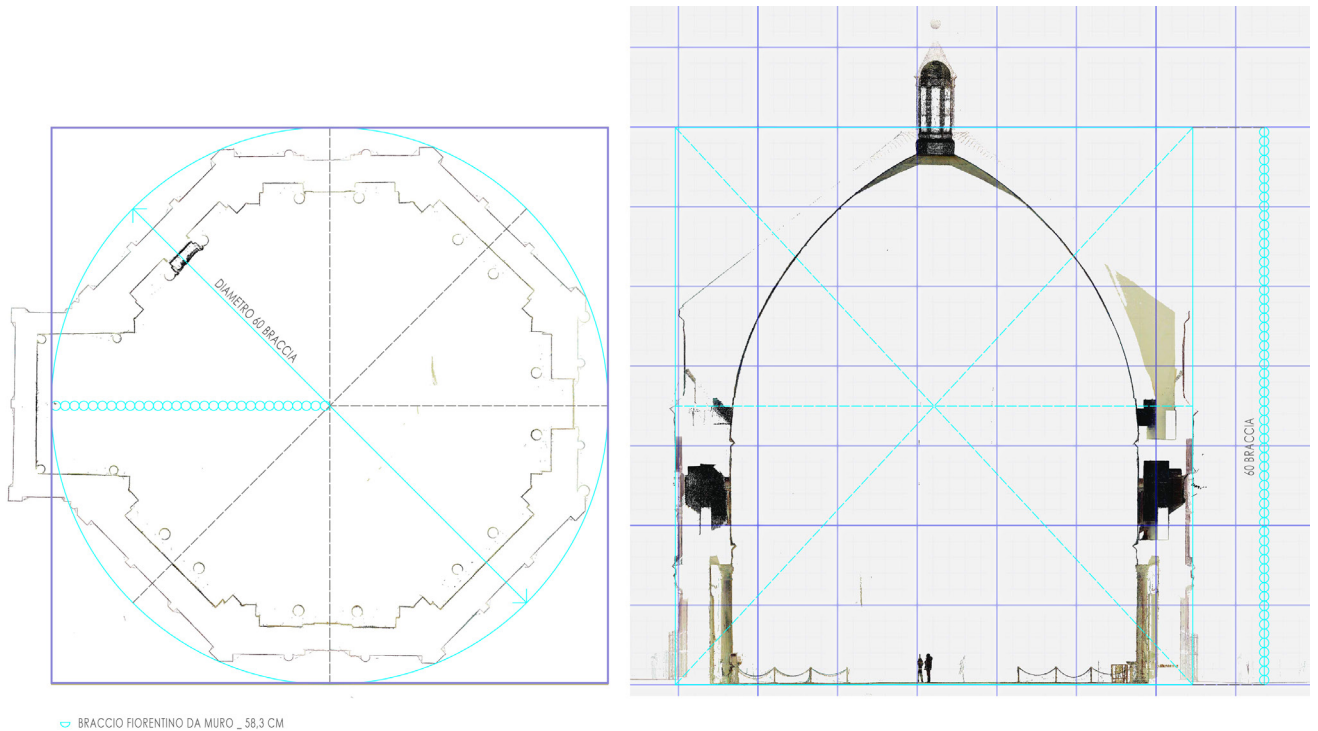
Nonostante si riescano a percorrere con sufficiente chiarezza le vicissitudini del monumento dal Duecento ai giorni nostri, lo stesso non può dirsi per la storia precedente di questo studiatissimo monumento, che ancora ad oggi non è pervenuta ad univoche certezze. A lungo infatti la tradizione storiografica locale, a cominciare dalla *Cronica* di Giovanni Villani¹² (fig.2.12), ha posto in essere la discendenza diretta del monumento da un preesistente tempio romano di età augustea, il cosiddetto Tempio di Marte eretto per celebrare la vittoria di

Firenze su Fiesole (fig.2.13). Questa leggendaria origine, priva di fondamento come hanno dimostrato gli scavi tra il 1895 e il 1915, rappresentava la volontà della Firenze medievale di conferire nobiltà e valore al più importante monumento della città. Altra tesi, ancora oggi non del tutto tramontata, ma che ha trovato soprattutto nello scorso secolo molti assertori, vede il monumento sorgere su un precedente battistero di epoca paleocristiana, poiché il monumento sorge sui resti di abitazioni romane del I e del III secolo d. C.

L'opinione più diffusa e fondata ad oggi è comunque quella che vede il Battistero un edificio a pieno titolo romanico, consacrato nel 1059 alla presenza di Niccolò II e che segna il compimento della prima fase edilizia dell'edificio. In questa fase venne definita la forma ottagonale del monumento, la struttura con il doppio anello lapideo, l'individuazione dei setti radiali e dei piloni portanti e la cupola a spicchi. Sia l'esterno che le pareti interne sopra la trabeazione del primo ordine non prevedevano l'impegnativo rivestimento marmoreo, ma dovevano presentarsi all'esterno con un paramento lapideo a faccia vista. Il matroneo doveva presentare grandi arcate schermate in basso da un parapetto e l'estradosso della

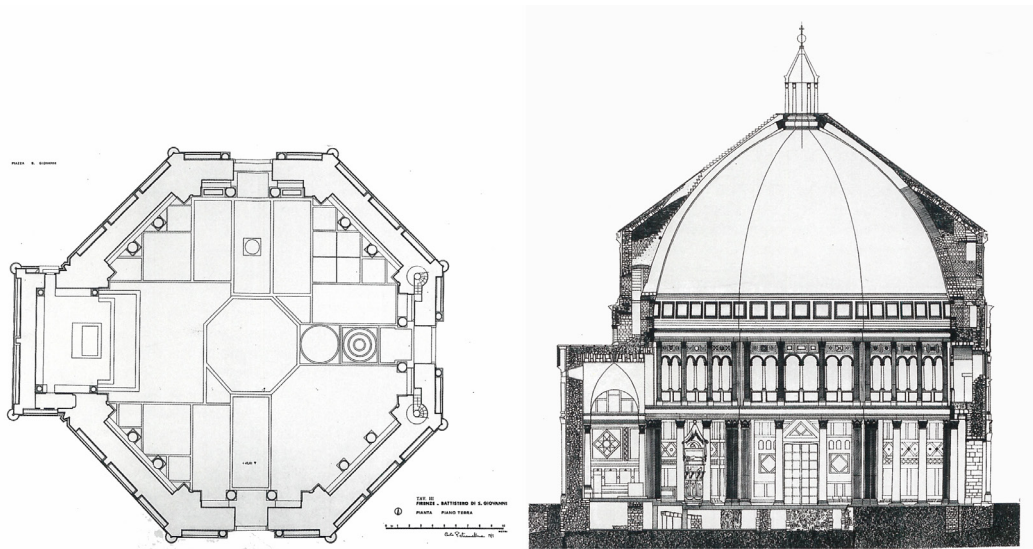


2.7/ Ricostruzione tridimensionale della geometria del Battistero. Immagine tratta da Bartoli et al., 2014, p. 139.



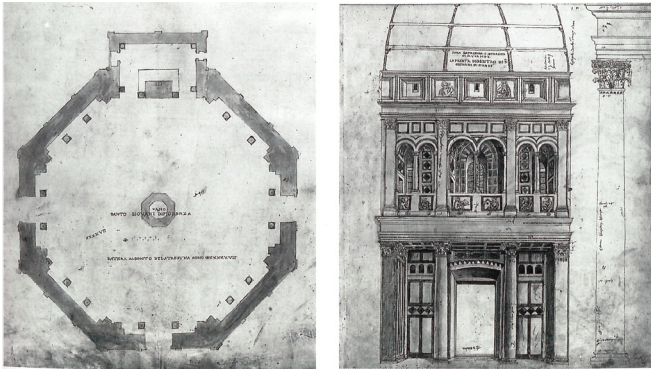
BRACCIO FIORENTINO DA MURO _ 58,3 CM

2.8/ Analisi geometrico proporzionale della struttura del Battistero. Il diametro è pari a 60 braccia così come l'altezza del monumento fino all'imposta della lanterna. Ulteriori analisi sulla geometria del San Giovanni sono state eseguite da Blasi, et al., 2014.

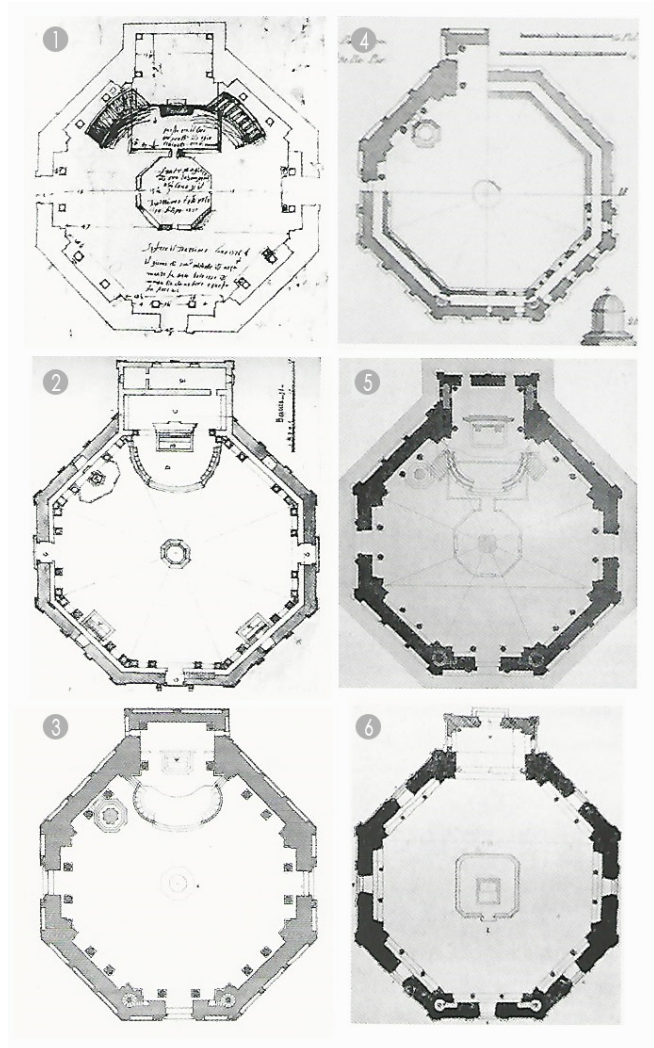


2.9/ Carla Pietramellara, 1973. Pianta del Battistero alla quota del piano terra e sezione longitudinale est-ovest. Tavole III e IV.

Giorgia Potestà



2.10/ Giuliano Da Sangallo, fine XV secolo. Pianta e sezione schematica del Battistero. Roma, Biblioteca Vaticana. Cod. Barb. Lat. 4424.



2.11/ Pianta del Battistero di Firenze. 1. Bernardo Buontalenti, 1577; 2. Cabrei dei Granduchi Lorenesi, metà del XVII secolo; 3. Giovanni Battista Nelli e Bernardo Sansone Sgrilli, 1733; 4. Charles Eduard Isabelle, 1843; 5. Jean Baptiste Seroux d'Agincourt, 1826; 6. Heinrich Hubsch, 1866.



2.12/ Totila fa distruggere la città di Firenze. f. 36r: (I.III,1). Immagine tratta da Frugoni, 2005, p. 101. Il Villani illustrato. Firenze e l'Italia medievale nelle 253 immagini del ms. Chigiano L VIII 296 della biblioteca vaticana.



2.13/ Giorgio Vasari e collaboratori, 1563 - 1565. Fondazione di Firenze colonia romana. Olio su tavola. Dal particolare emerge sullo sfondo il Tempio di Marte, a pianta ottagonale da cui si pensava discendesse il Battistero di San Giovanni. Firenze, Palazzo Vecchio, Salone dei Cinquecento. Soffitto. Immagine acquisita da Google Arts & Culture.



2.14/ La lanterna e la cupola ricoperta da mosaici a fondo oro.

cupola, che in questa fase era a vista, figurava posare su un attico aperto da monofore. Questo Battistero petroso cedette presto il passo ad una idea di fabbrica più ancorata alle astratte ragioni della geometria e svincolata dal gusto per una

struttura “pesante” (AA.VV. 1994).

Tra la fine dell’XI secolo e i primi del XII nacque il rivestimento marmoreo dei primi due registri esterni, le lesene pilastro e le semicolonne ottagonole con sovrapposte arcate e

coronamento trabeato, che faceva emergere all'esterno la sapienza classicista della decorazione del primo registro interno già decorato nella prima fase. A questa seconda fase appartiene anche la schermatura del matroneo con le bifore marmoree all'interno, e la costruzione della lanterna marmorea nel 1150 che già poggiava su una copertura piramidale che inglobava la cupola (fig.2.14)

All'inizio del secolo successivo, tra il 1202 e il 1225, venne costruita la scarsella (fig.2.15) e nel corso del secolo venne perfezionato l'attico nella sua conformazione attuale. A questa fase di "smaterializzazione" della fabbrica si attribuisce la decorazione marmorea del secondo registro interno sia quello del falso tamburo in corrispondenza dell'attico, nonché la campagna di rivestimento integrale a mezzo del mosaico sia della superficie di copertura (fig.2.14 volta della scarsella e cupola) quanto di ogni ulteriore spazio libero. Alla fine del Duecento si attribuisce ad Arnolfo di Cambio il rivestimento marmoreo dei piloni angolari "zebrati" dell'esterno, concludendo il plurisecolare processo di "marmorizzazione" del monumento (fig.2.16) D'ora in avanti tutti gli interventi eseguiti sul monumento furono tesi non certo alla modifica della fabbrica quanto a mantenerne l'aspetto.

Riassumendo pertanto si individuano tre nuclei forti nella costruzione della fabbrica: dalla metà dell'XI secolo agli inizi del XII si definisce una fase "petrosa" e fortemente romanica, con la costruzione del grezzo; la seconda fase, durante la prima metà del XII secolo, descritta come "astrattiva" e marmorea", vede la realizzazione del rivestimento esterno ed interno; la terza, durante la prima metà del XIII secolo, definita come "gotica" con la realizzazione dei mosaici.

Nel corso del Trecento l'Arte di Calimala, che aveva commissionato la costruzione del monumento, poté dedicare nuovi finanziamenti per la realizzazione delle tre porte bronzee, commissionando la prima, quella sud, all'orafo Andrea Pisano nel 1330. La porta nord invece fu oggetto del famoso concorso del 1401 che vide Lorenzo Ghiberti trionfare su Brunelleschi ed eseguire le formelle tra il 1403 e il 1424. L'ultima porta, soprannominata da Michelangelo "del Paradiso" fu eseguita ugualmente dal Ghiberti e completata nel 1452 (fig.2.17). Nel frattempo anche l'interno si arricchì di arredi e preziosità, tra cui l'altare d'argento del Battista e l'unica sepoltura presente all'interno del monumento, ovvero quella di Baldassarre Cossa, voluta da Cosimo II Vecchio De' Medici e realizzata nel

1422 da Michelozzo e Donatello. Nel Cinquecento, gli originali gruppi scultorei trecenteschi posti sopra le porte bronzee da Tito di Camaino furono rimpiazzati da maestri moderni, quali Andrea Sansovino, Giovanni Francesco Rustici e Vincenzo Danti.

Già alla fine dell'Ottocento il Battistero aveva iniziato ad essere oggetto di una impegnativa campagna di scavi per appurarne la cronologia ed eventuali precedenti nella sua fondazione, nonché di restauri mirati in primis per risolvere il problema dell'infiltrazione dell'acqua piovana che danneggiava la superficie musiva della cupola. Tra il 1898 e il 1917 seguì il cantiere di restauro dei mosaici della cupola e della scarsella da parte dell'Opificio delle Pietre Dure e durante tutto il XX secolo si è manifestata una particolare attenzione alla conservazione del monumento e in risposta prima alle minacce della guerra e dell'alluvione poi¹³. Ma ciò che più ha inficiato negli ultimi anni la conservazione del monumento è senza dubbio l'inquinamento, in grado di polverizzare le decorazioni marmoree e i gruppi scultorei, nonché corrodere le dorature delle porte a causa della formazione ciclica di sali.

2.3 Rilevamento architettonico e acquisizioni.

Il concetto secondo cui le attività che definiamo Rilievo rappresentano il corpo teorico-operativo mediante il quale si tende alla conoscenza degli elementi materiali è ormai ampiamente accettato. Occorre tuttavia ancora una volta sottolineare la multidimensionalità e multidisciplinarietà di questo processo, che di fatto prevede la definizione di un sistema di conoscenza volto alla raccolta, all'interpretazione e all'archiviazione delle informazioni quantitative, operazioni di rilevamento, ma anche e soprattutto qualitative (Bianchini et. Al, 2017). Le prime riconducono al rigoroso approccio scientifico, le seconde invece, dipendono dalla sensibilità e capacità interpretativa dell'operatore che, criticamente, sceglie, seleziona e rappresenta. Nello sviluppo di un rilievo si ravvisa ormai una vera dicotomia tra la fase di acquisizione dei dati, rilevamento, sempre più dipendente dall'utilizzo delle nuove tecnologie di scansione 3D ed acquisizione massiva, e le modalità con cui invece si realizza l'analisi dell'oggetto studiato. Il Rilievo viene dunque inteso come strumento di conoscenza per la comprensione degli elementi materiali, ovvero di quel processo che prevede la definizione di un sistema di conoscenza idoneo alla acquisizione, selezione, interpretazione e

rappresentazione di informazioni.

Rilevare corrisponde dunque in qualche misura proprio a cogliere l'intima essenza degli elementi materiali, carpendone le matrici costruttive e i rapporti proporzionali come pure quella parte di cultura immateriale che nei secoli ha prodotto, trasformato e conservato quegli elementi. In questo senso, il processo del Rilievo è strettamente connesso anche al concetto di modello inteso come prodotto di un soggetto che opera su un oggetto in modo da estrarne alcune tra le innumerevoli informazioni disponibili. Il modello è dunque sempre parziale, astratto e soprattutto soggettivo e solo per effetto e conseguenza di una rappresentazione esso diviene disponibile per altri soggetti. L'avvento dei sistemi digitali ha affiancato ai tradizionali modelli grafici 2D anche nuovi modelli tridimensionali ovvero rappresentazioni puramente numeriche capaci però di instaurare una corrispondenza molto precisa tra spazio fisico e spazio virtuale e inoltre sostanzialmente libere dai vincoli dimensionali imposti a un disegno tradizionale dalla limitata estensione del supporto (Bianchini et. Al, 2011). Ma la rivoluzione digitale ha influenzato il settore del Rilievo anche e soprattutto nella fase di acquisizione dei dati: disponiamo infatti oggi di un ventaglio di strumenti e tecnologie capaci di catturare in pochi secondi la geometria di un qualunque oggetto, con incertezze agevolmente inferiori al millimetro e senza perdere informazioni circa le caratteristiche salienti della sua superficie (colore, riflettanza, etc.). Rilievo e indagini diagnostiche concorrono insieme a creare un supporto di base per la realizzazione di modelli tridimensionali e nello specifico di modelli BIM in grado di convogliare al loro interno la totalità delle informazioni sull'oggetto cercando di esprimere maggiore fedeltà alla realtà indagata e fornendo una valida base per la gestione degli interventi futuri.

Lo stretto legame che intercorre tra documentazione e conservazione del patrimonio architettonico da un lato, e la conoscenza del manufatto dall'altro, rende il rilievo architettonico uno dei momenti principali della metodologia di analisi degli edifici storici e di conseguenza risulta fase importante e preliminare anche per la modellazione BIM (Centofanti et. Al, 2016).

2.3.1 Le acquisizioni da laser scanner

La campagna di rilevamento architettonico che ha riguardato il monumento nel 2013 è stata condotta dalla UCSD in primo

luogo attraverso il TLS. Sono state eseguite 62 scansioni totali per un totale di circa mezzo miliardo di punti acquisti con il laser scanner FARO FOCUS 3D. Le scansioni sono state posizionate, sia per l'interno che per l'esterno, in prossimità degli angoli del monumento e quelle all'esterno si sono arricchite anche di due scansioni eseguite dalle terrazze del Duomo al fine di coprire parzialmente anche la superficie del tetto (fig.2.18). L'acquisizione è stata articolata in diverse fasi che hanno riguardato in primo luogo le scansioni dell'esterno del monumento; successivamente quelle all'interno dove i caposaldi sono stati posizionati anche qui in prossimità degli angoli per evitare l'occlusione data dalle colonne angolari; la terza fase ha riguardato le acquisizioni all'interno dell'intercapedine tra calotta della cupola e tetto piramidale, importanti per la comprensione della struttura della cupola. Queste scansioni hanno la particolarità di essere molto vicine tra loro e radenti alle superfici murarie in quanto lo spazio a disposizione era molto angusto e pertanto erano necessarie molte scansioni per garantire una sufficiente sovrapposizione di dati. Infine è stato rilevato il sotterraneo scavato al di sotto del pavimento del Battistero. Tranne che per l'esterno del monumento, che si è potuto acquisire in tutta tranquillità nelle ore notturne, unico momento della giornata in cui i turisti non affollano la piazza, la posizione e il numero delle scansioni per l'interno è stato pianificato preventivamente sulla base del tempo a disposizione concesso dall'OPA per la realizzazione delle acquisizioni¹⁴. Sono state pertanto eseguite 14 scansioni all'esterno per un tempo stimato di 27:45 minuti circa, 13 scansioni all'interno con tempo stimato di 13:53 minuti ciascuna, 21 scansioni da 11 minuti circa per il matroneo e 14 scansioni da 8 minuti per il sotterraneo. La registrazione delle nuvole di punti sono state eseguite in FARO SCENE utilizzando sia l'allineamento automatico *cloud-to-cloud* che quello manuale attraverso il riconoscimento di *target*. La principale difficoltà riscontrata in questa fase presso i laboratori del CISA3 è stata la scarsa presenza di dati per il collegamento tra l'esterno e l'interno del monumento; questo problema si è manifestato in primo luogo a causa del poco tempo a disposizione per l'acquisizione dell'esterno e in particolar modo per l'impossibilità di eseguire le scansioni lasciando aperte le porte bronzee che avrebbe consentito maggiore sovrapposizione di punti. Inoltre non sono stati utilizzati target fisici in quanto sarebbero andati a coprire parti del rivestimento marmoreo o

Giorgia Potestà



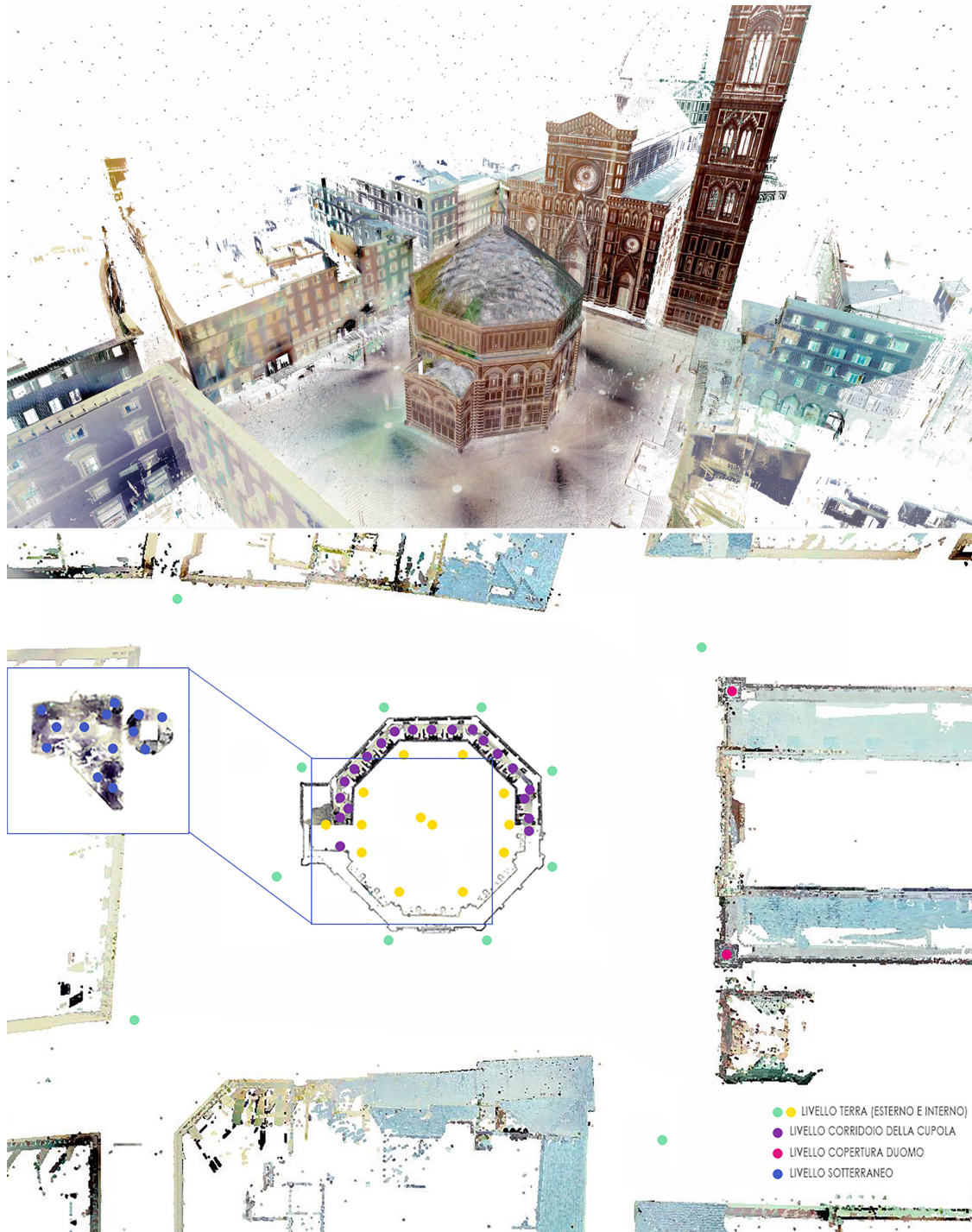
2.15/ Foto della scarsella del Battistero scattate durante la campagna di rilevamento. Al centro la parasta corinzieggiante di sostegno alle arcate.



2.17/ La "Porta del Paradiso", ingresso principale del San Giovanni. Originale conservato nel Museo dell'Opera del Duomo.

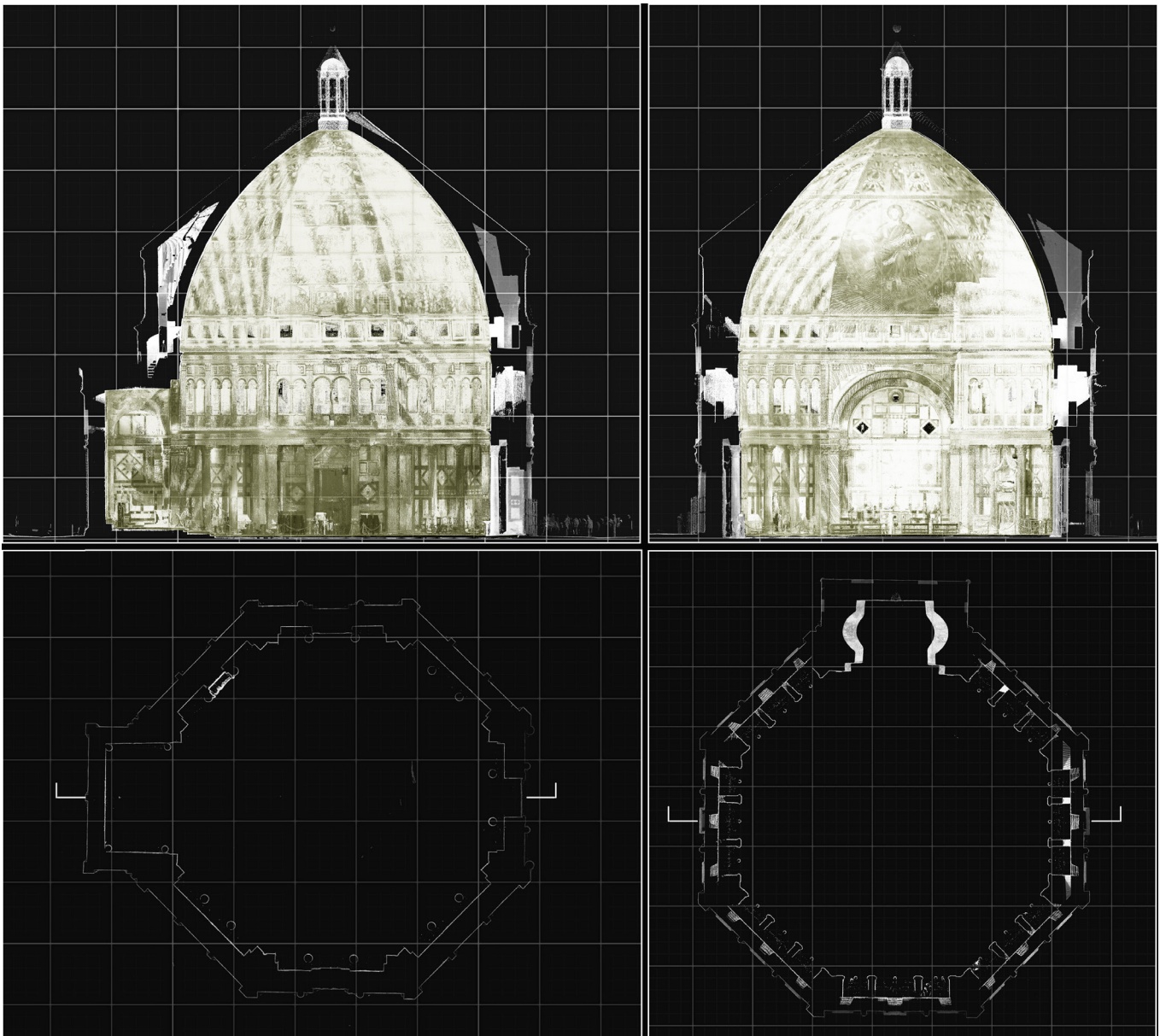


2.16/ Il rivestimento marmoreo del Battistero. Da sinistra: l'attico del lato sud ovest e sul fondo il campanile di Giotto; il secondo registro con le finestre a edicola del lato nord ovest; il pilastro angolare "zebrato" dell'angolo sud ovest. Foto scattate durante la campagna di rilevamento .

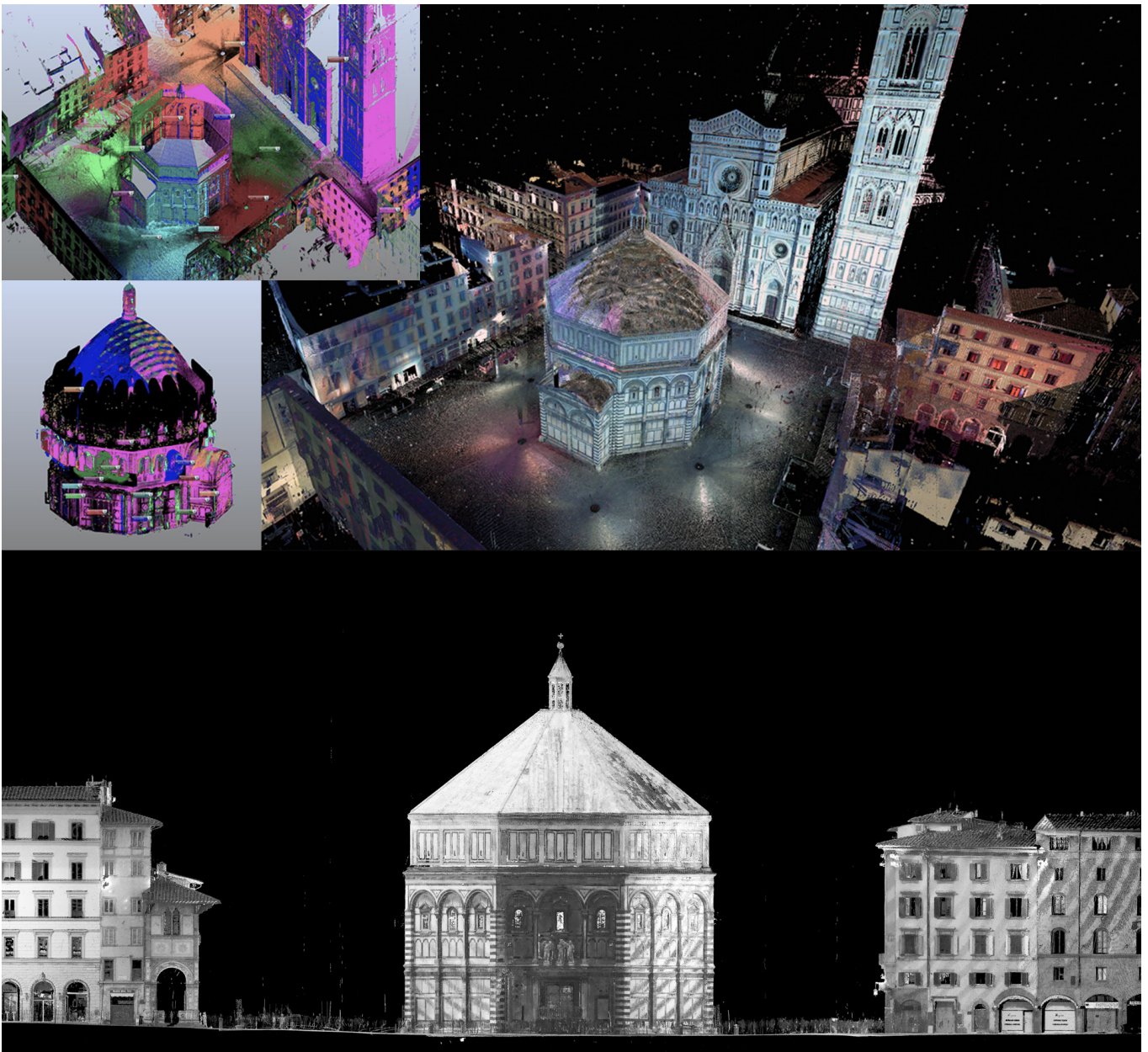


2.18/ Vista generale della nuvola di punti dall'angolo sud ovest della piazza e planimetria con il posizionamento delle scansioni.

Giorgia Potestà



2.19/ Sezione longitudinale e trasversale del Battistero. Pianta del piano terra a quota 2.00m e pianta del matroneo a quota 13.50m. Snapshots della nuvola in Viscore.



2.20/ Registrazione delle scansioni interne ed esterne del Battistero in Faro Scene. Vista d'insieme e prospetto est in bianco e nero con ai lati la Loggia del Bigallo e il Centro di Arte e Cultura in Via de' Martelli. Viste della nuvola in ambiente Viscore.

decorativo, causando delle lacune nella visualizzazione della *point cloud*. Per questo motivo il lavoro di allineamento e registrazione della nuvola è stato lungo e complesso e si è basato sulla sovrapposizione dei punti di scansione acquisiti attraverso le finestre e le feritoie presenti nelle otto facciate. Per la realizzazione di snapshots ad alta risoluzione della nuvola di punti e l'estrapolazione di piante prospetti e sezioni è stato utilizzato il software di *point cloud rendering* Viscore, sviluppato dal laboratorio della CISA3 che consente inoltre l'integrazione e la sovrapposizione alla nuvola di punti di una serie di altri dati derivanti da indagini e rilievi di altro tipo ¹⁵(fig.2.19 e 2.20). Registrata la nuvola di punti sono stati sperimentati, presso i laboratori della UCSD, sistemi di visualizzazione della nuvola di punti basati sull'uso di monitor. L'approccio implementato consente agli utenti di ispezionare liberamente il modello virtuale del sito tramite hardware che va da un laptop a un ambiente di visualizzazione immersivo basato su *cluster*, come il CAVE e la WAVE. La capacità di trasportare e manipolare miliardi di punti che descrivono un sito è estremamente utile ad una vasta gamma di analisi, presentazioni e collaborazioni; i CAVE forniscono la possibilità per l'utente di essere immerso in un set di dati 3D che formano un surrogato digitale del sito analizzato attraverso l'uso di occhiali per la visualizzazione 3D, e consente alle persone che non hanno visitato il sito fisicamente di sperimentarlo in un modo molto vicino alla realtà. I *display walls* e gli ambienti WAVE invece aprono i dati all'esplorazione e interpretazione collaborativa: sono estremamente utili per le indagini di gruppo dei dati 2D nel caso dei *display walls* e in 3D per i sistemi WAVE; anche in questo per la visualizzazione immersiva si è utilizzato Viscore per la navigazione. (fig.2.21)

2.3.2 Le altre acquisizioni non distruttive: SfM, immagini termografiche, GPR.

Oltre al rilievo TLS sono state effettuate dalla UCSD ulteriori acquisizioni sul monumento, allo scopo di documentarne anche lo stato di conservazione; una di queste è la termografia. Le immagini termografiche sono state acquisite per le otto facciate esterne del monumento, registrate sulle immagini ad alta risoluzione e successivamente sovrapposte ai dati geometrici acquisiti con TLS. Nella procedura utilizzata, ovvero quella della fusione automatizzata di immagini visibili e termiche, vengono registrate automaticamente le immagini

termiche sulle immagini visibili, utilizzando le note posizioni relative tra le camere. La maggior parte delle procedure di fusione automatica tra immagini reali e termiche sono basate sulla corrispondenza biunivoca tra le due immagini prodotte, ma molto spesso, nel campo dell'architettura, le immagini termiche rivelano dettagli sotto la superficie degli oggetti che non corrispondono a quanto rappresentato dalle foto. Una volta che il sistema è stato calibrato con una coppia di immagini multimodali che contengono caratteristiche corrispondenti, ogni coppia successiva di immagini può essere automaticamente registrata. Uno dei vantaggi che si ha utilizzando questo approccio è che per effettuare la registrazione non si fa affidamento sulle caratteristiche presenti nelle immagini.

Il processo utilizzato prevede l'utilizzo di un supporto per telecamera stampato in 3D (a basso costo) progettato per montare in modo sicuro fotocamere attorno ad una telecamera termica e sfrutta la geometria fissa del supporto. Il sistema implementato utilizza una termocamera FLIR A 615 ed un distanziometro laser Dimetix AG 2015 per misurare correttamente le distanze lette; le fotocamere sono orientate secondo una disposizione a triangolo equilatero con lato 150 mm. Il campo visivo di una camera tuttavia è molto più ampio di una termocamera, e per questa ragione le acquisizioni sono state fatte mantenendo opportune sovrapposizioni, in modo tale da ottenere alla fine un mosaico termico senza soluzione di continuità. Le immagini visibili vengono ricucite utilizzando le proprie corrispondenze tra punti omologhi, processo che effettuano abitualmente molti software; successivamente le immagini termiche vengono proiettate su questo modello geometrico, utilizzando una trasformazione di rettifica nota poiché è la stessa effettuata in fase di calibrazione della camera. Questo processo genera infine un mosaico di immagini termiche ad alta risoluzione registrato su di un mosaico di immagini visibili ricucite, il tutto evitando di utilizzare le caratteristiche omologhe tra immagini termiche. Nello specifico è stato utilizzato il software PTGui per unire le immagini visibili e salvare le posizioni e gli orientamenti della camera (fig.2.22).

Anche la SfM può aggiungere informazioni e dettagli al modello numerico laser scanner, come nel caso della cupola del Battistero. Sono state infatti acquisite immagini gigapixel ad alta risoluzione tramite camera Sony QX 100 della superficie coperta a mosaico della cupola e processate in Agisoft Pho-

toscan al fine di ottenere una nuvola di punti texturizzata da sovrapporre alla scansione laser scanner. La maggiore fedeltà cromatica e la minore distanza tra i punti acquisiti hanno consentito una mappatura delle crepe e delle fessurazioni della superficie (fig.2.23)

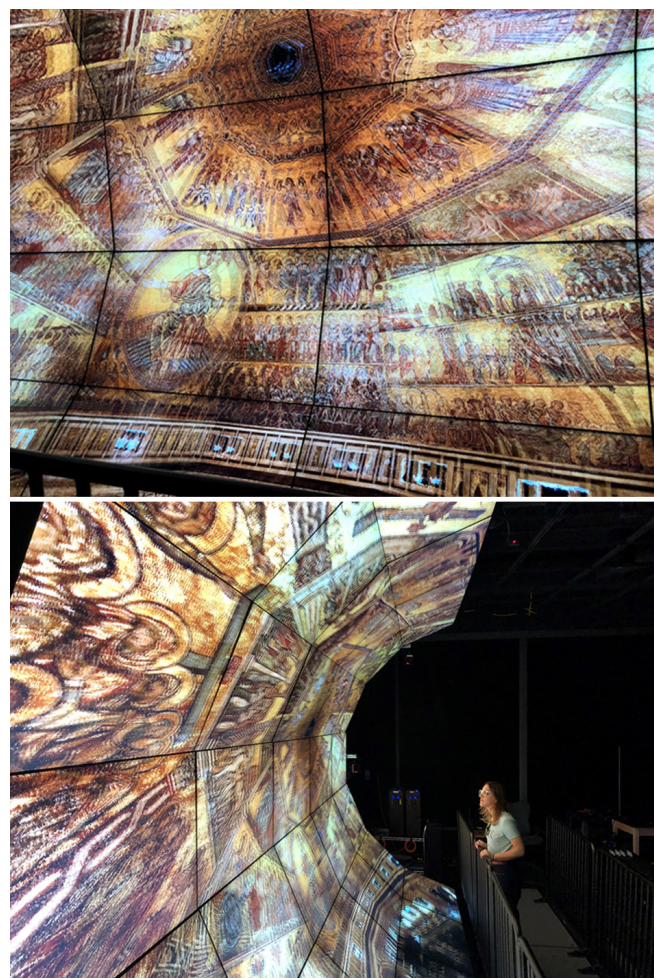
Infine sono stati raccolti anche dati GPR *Ground Penetrating Radar*, per una porzione del pavimento interno del monumento e anche un piccolo campione su una delle pareti interne del primo registro rivestite da marmo. GPR e termografia possono essere aggiunti al rilievo TLS con ulteriori livelli di conoscenza del manufatto architettonico a livello costruttivo, andando oltre ciò che è visibile a occhio nudo. Il GPR per esempio ha aiutato a studiare la struttura muraria interna e l'area non scavata al di sotto del Battistero. I dati GPR sulle pareti hanno consentito di individuare lo spessore delle lastre di marmo decorative e di modellare più precisamente lo spessore murario. (fig.2.24 immagini).

Tutte le indagini condotte documentano lo stato di conservazione del manufatto architettonico, e sono molto interessanti dal punto di vista della ricostruzione tridimensionale BIM poiché ci danno conto dell'architettura e della struttura dell'edificio, soprattutto per ciò che non è possibile osservare ad occhio nudo. Il rilievo TLS e SfM ci danno conto dell'architettura del monumento, la termografia ci dà informazioni circa le suddivisioni e fessurazioni delle lastre di rivestimento marmoreo, e grazie al GPR è stato possibile individuare lo spessore di tali lastre.

2.3.3 Gestione della nuvola di punti e relazione tra modello e dati acquisiti.

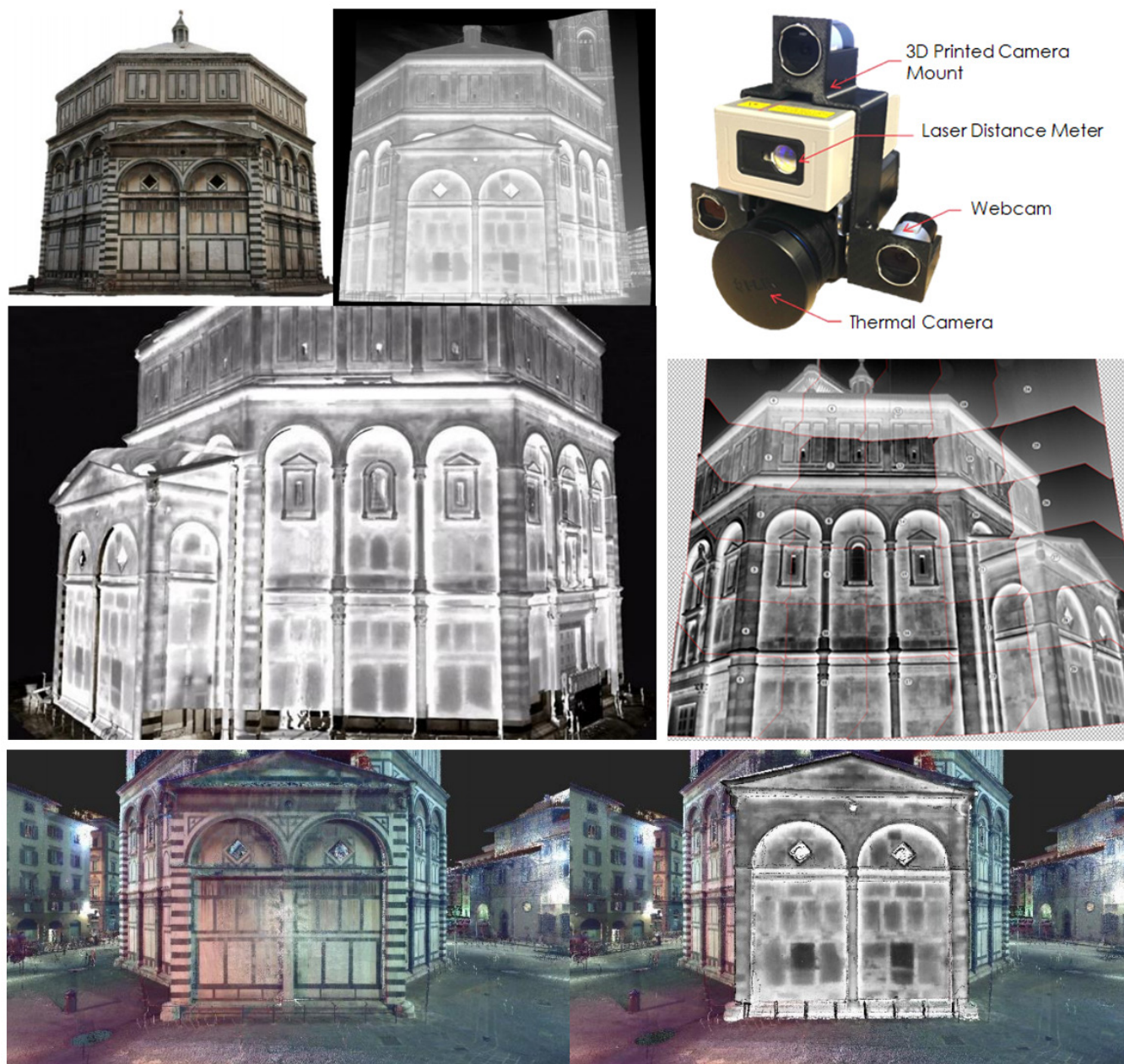
La nuvola di punti registrata e pulita dei dati in eccesso è stata poi importata in Autodesk Recap al fine di consentire la successiva importazione in Revit¹⁶. Questo passaggio apparentemente forzato è in realtà molto utile all'obiettivo di segmentare la nuvola di punti acquisita ed appena allineata; infatti all'interno del software Recap è possibile non solo selezionare ed eliminare o nascondere porzioni della nuvola, ma anche creare le cosiddette *Scanregions* o regioni di scansione, attraverso si possono suddividere i dati acquisiti raggruppandoli per area e attribuendogli un colore. Nel caso del Battistero sono state individuate regioni di scansioni distinte, oltre che per interno esterno e sotterraneo, anche per la copertura, l'attico, la scarsella e i registri. Questa suddivisione

consente una gestione più agevole della nuvola di punti in Revit, in quanto la piattaforma BIM consente l'importazione della nuvola con annesse regioni di scansione come fossero dei *layers* che possono essere accesi e spenti per facilitare la modellazione delle parti, nonché diverse opzioni di visualizzazione (fig.2.25). Con l'importazione della nuvola di punti in Revit e la geolocalizzazione del progetto si conclude la fase preliminare che riguarda la piattaforma *BIM authoring* e si passa alla vera e propria fase di modellazione del monumento.

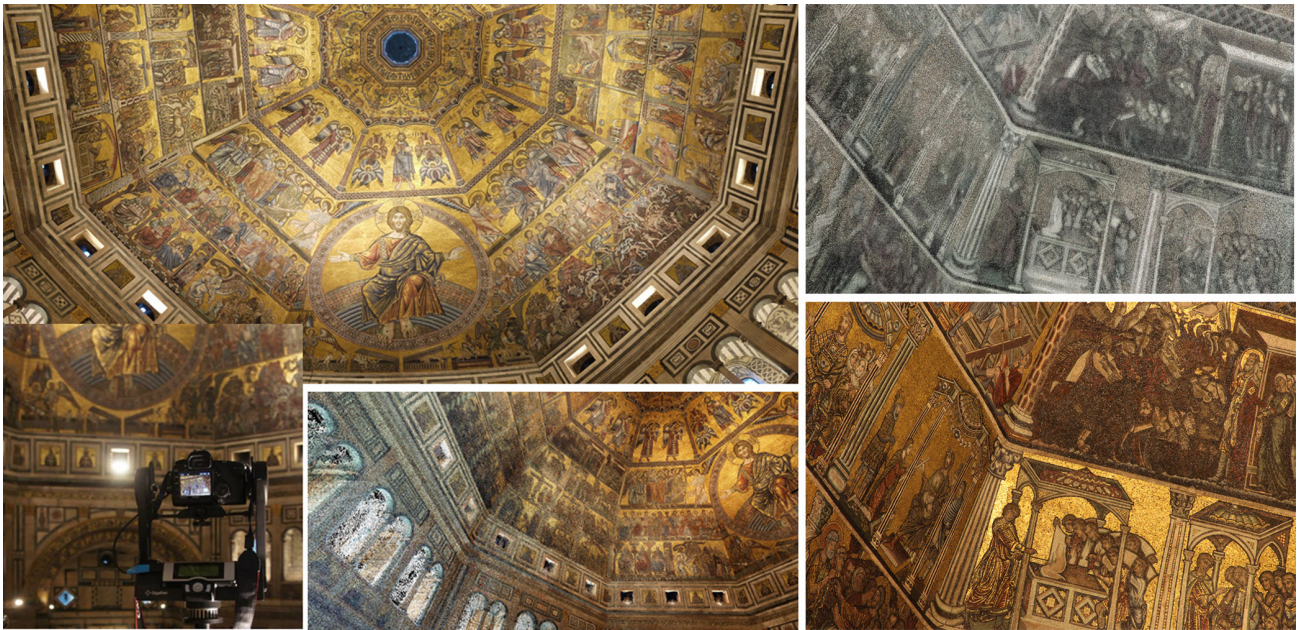


2.21/ Ambiente Wave presso i laboratori CISA3 dell'Università di San Diego. La visualizzazione immersiva all'interno del Battistero è possibile grazie a dei semplici occhiali per la visione tridimensionale.

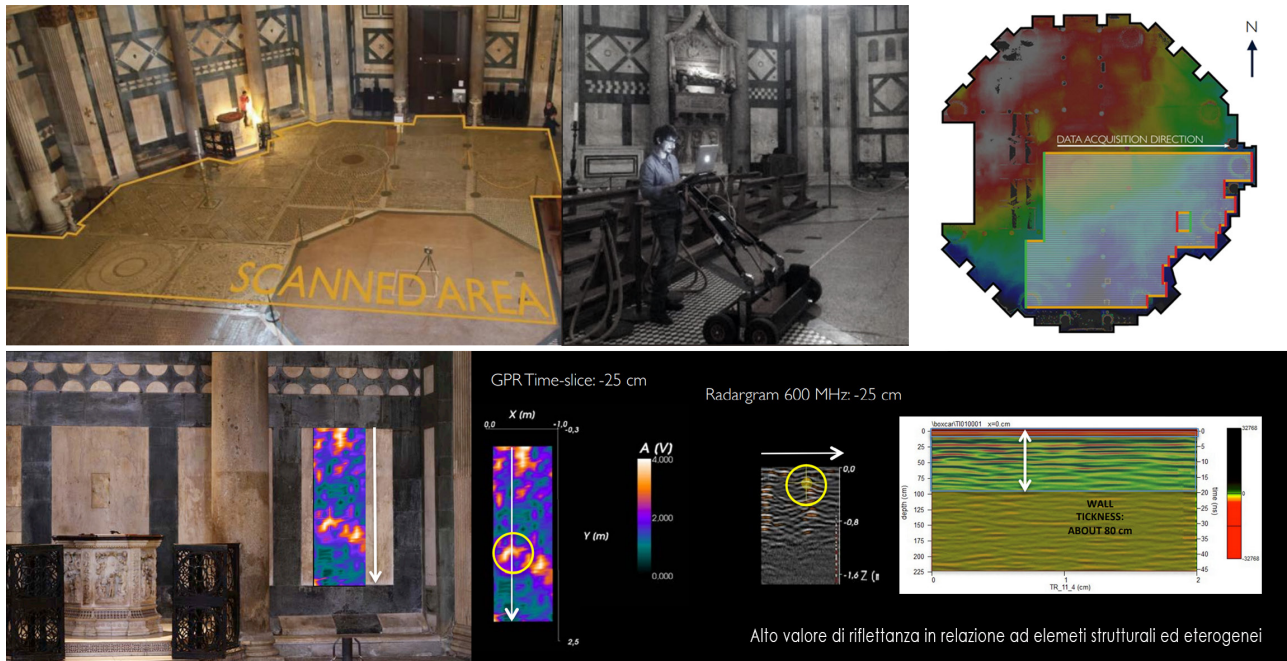
Giorgia Potestà



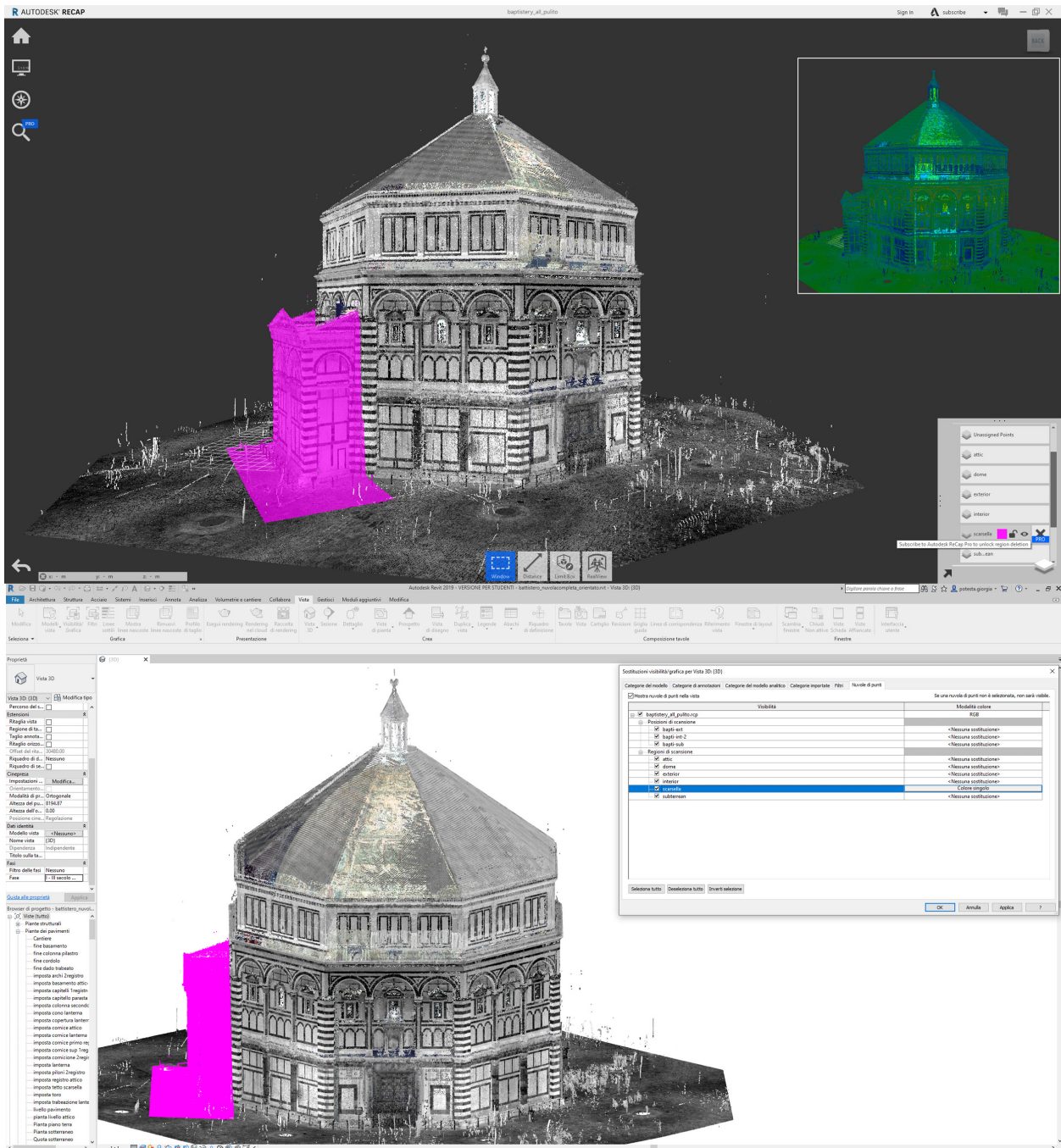
2.22/ Acquisizioni termografiche. In alto: modello geometrico e mosaico di immagini termografiche del prospetto ovest del Battistero. Stitching delle immagini termiche eseguito con il software PTGui. Immagine della strumentazione utilizzata. In basso: vista in ambiente Vicore del modello numerico del Battistero e sovrapposizione del layer mosaico termografico del lato ovest con la scarsella. Immagini tratte da: Hess, 2014, p. 118.



2.23/ Acquisizioni Structure from Motion della cupola interna del Battistero ricoperta da mosaici. Sulla destra: confronto tra l'acquisizione TLS della cupola e l'immagine gigapixel. In basso: sovrapposizione del modello numerico TLS con quello SfM in ambiente Viscore.



2.24/ Acquisizioni GPR. In alto: acquisizione del pavimento; in basso: acquisizione di una lastra di rivestimento in marmo.



2.25/ Importazione della nuvola segmentata. In alto: creazione delle regioni di scansione in Autodesk Recap. In basso: importazione della nuvola di punti in Autodesk Revit . La piattaforma BIM authoring importa tutte le scanregions precedentemente create in Recap e i raggruppamenti per scansioni. Come evidenziato dalle immagini, viene correttamente riconosciuta la regione "scarsella" in magenta.

Note

1 OPA. <https://duomo.firenze.it/it/home>

2 Apocalisse 21,2; 21,18-19.

3 Si tratta dell'antica chiesa di Santa Reparata di cui è possibile ammirare i resti nell'area sottostante il Duomo.

4 Edoardo Galli intraprese tra il 1895 ed il 1915 alcune campagne di scavi archeologici in prossimità del Battistero, nell'area dell'arcivescovado adiacente la scarsella, e al di sotto di questo, rivendendo la domus romana di fondazione romana che fu in uso fino al tardo impero e le numerose sepolture. Al tal proposito si veda GALLI, E., *Dove sorse "il bel San Giovanni"*, Firenze 1916.

5 Questa campagna di scavi è stata condotta a più riprese fino al 1980, con diverse pubblicazioni a cura degli autori, uno fra tutti Franklin Toker. Egli si unì agli scavi archeologici degli edifici romani e del primo medioevo sotto il Duomo di Firenze nel 1969, quindi diresse i lavori fino alla conclusione nel 1974. Nel 1973 e nel 1980 supervisionò diversi scavi che stabilirono il progetto originale per la cattedrale. Al riguardo e per avere un quadro più dettagliato delle campagne di scavo dell'area si veda TOKER, F., *Archaeological campaigns below the Florence Duomo and Baptistery, 1895 – 1980*, Firenze 2013.

6 La forma ottagonale nelle strutture ecclesiastiche è sempre attribuita alla funzione del battistero, in quanto il numero 8 rappresenta l'*octava dies*, l'ottavo giorno dopo i sei giorni della creazione e dopo il settimo, il sabato (Gen 2,1-3), e che ha legame con il concetto di morte e rinascita a nuova vita. Il numero otto rappresentato dall'ottagono è quindi un numero escatologico.

7 Il termine scarsella deriva, nel dialetto fiorentino antico, dalla borsa di cuoio per tenervi denari o altro, che si portava un tempo appesa al collo o alla cintura.

8 Il braccio fiorentino da muro è pari a 58,3 cm.

9 Barb. Lat 4424, cc. 34r (tavola del prospetto interno) e I33v (tavola della pianta).

10 Tali descrizioni furono sostituite da quelle di Giovan Battista Clemente figlio del Nelli nella ristampa del 1753 e poi il rilievo fu ripubblicato da Giuseppe Del Rosso con incisioni di Angiolo Cappiardi e Giovanni Silvestri con tavole identiche alle precedenti nel 1822; il rilievo ebbe pertanto un'ampia diffusione.

11 Si veda al riguardo Gurrieri, 2014, pp. 105-117.

12 Su tale argomento si è consultato il testo FRUGONI, C., *Il Villani illustrato. Firenze e l'Italia medievale nelle 253 immagini del ms. Chigiano L VIII 296 della biblioteca vaticana*, Firenze 2005 presso la biblioteca degli Uffizi a Firenze.

13 Nel 1943, a seguito del conflitto mondiale, le opere mobili furono rimosse e collocate al sicuro, comprese le tre porte di bronzo, che tornarono al loro posto restaurate nel 1948. L'alluvione del 1966 spalancò due delle tre porte facendo cadere nel fango alcuni rilievi. Vennero danneggiati anche alcuni sarcofagi romani.

14 Il Battistero è aperto alle visite dei turisti durante tutto il giorno e l'OPA ha concesso all'Università la possibilità di eseguire rilievi supervisionati per un totale di 10 ore, distribuiti in 3 mattinate ed un pomeriggio.

15 Inoltre per il software di point cloud rendering è stato sviluppato un algoritmo personalizzato utilizzando una strategia di rendering di raffinamento adattivo e progressivo che carica i dati in volo, come richiesto (una tecnica comunemente chiamata out-of-core.). Si veda al riguardo Petrovic, et al., 2011.

16 La piattaforma *BIM authoring* in questione infatti consente l'importazione delle *point clouds* esclusivamente in formato .rcp, e implica quindi l'utilizzo dell'altro software Autodesk.

3. La meccanica del processo: scomporre e ricostruire

La storia delle arti procede dal conosciuto allo sconosciuto, fa precedere l'osservazione diretta, minuziosa, analitica, alla sintesi sistematica dei dati [...]. Ma l'osservazione deve a sua volta ricondurre al sistema. Una volta che le parti sono ben conosciute sia in sé stesse che nei loro reciproci rapporti, deve seguire il tutto, ovvero l'insieme che è la verifica universale, altrimenti i nostri sforzi sarebbero vani. [...]

Antoine Chrysostome Quatremère de Quincy,
 Considérations morales sur la destination des ouvrages de
 l'art ou de l'influence de leur emploi, 1815.

La costruzione del modello tridimensionale di un oggetto architettonico complesso prevede necessariamente la successione di diverse fasi di modellazione, dagli elementi più semplici e, assemblandoli, a quelli più complessi, secondo un processo peculiare della metodologia BIM e che trova diretta corrispondenza nelle tecniche edilizie di costruzione del reale. Come è noto, i sistemi *Building Information Modeling* nascono per migliorare e gestire il processo edilizio, sia per quanto riguarda l'interoperabilità della piattaforma ed il controllo del processo e delle sue variabili, che per l'uso di elementi standardizzati nella produzione. Molte aziende ormai sviluppano modelli BIM dei loro prodotti per favorire l'integrazione di questi all'interno dei progetti per le nuove costruzioni (fig. 3.1), e che i progettisti possono inserire all'interno delle "librerie" di oggetti digitali. Inoltre, l'immediatezza che i modelli tridimensionali hanno nel fornire soluzioni progettuali è innegabile, in quanto, se ben sviluppati, offrono una esatta corrispondenza con la realtà e permettono di simularne la costruzione e prevederne il comportamento.

Come già scriveva Riccardo Migliari nella collana Nuovi quaderni di applicazioni della geometria descrittiva:

"...la costruzione di un modello si articola in tre fasi distinte e successive: la sintesi, la riduzione, la proiezione. Nella

*prima fase, la sintesi, l'oggetto del quale si vuole costruire il modello viene estratto dalla realtà cui appartiene e a esso viene sostituita una sua copia ideale, detta modello geometrico, grande quanto il vero. Questa copia è fatta di forme geometriche pure, opportunamente composte, le quali approssimano la forma, più complessa e irregolare, dell'oggetto reale. Nella seconda fase, la riduzione, il modello geometrico, grande quanto il vero, viene semplificato e ridotto in modo che le sue dimensioni siano confrontabili con quelle del foglio di carta che dovrà ospitare il disegno o con le capacità di memoria del computer. Nella terza fase, la proiezione, il modello geometrico in scala viene sottoposto alle operazioni di proiezione e sezione, che producono, sulla carta o sullo schermo del computer, una vista del modello stesso, permettendo così al progettista di valutarne le qualità formali e di operare su di esso. Caratteristica essenziale del modello grafico, informatico o plastico è quella di consentire la ricostruzione, nello spazio, del modello geometrico dell'oggetto rappresentato. Di conseguenza, l'intero processo qui descritto può essere percorso in due versi: quello che va dalla realtà al disegno e quello che va dal disegno alla realtà. Nel primo caso il processo è asservito al rilievo, nel secondo caso al progetto"*¹

Nel Rinascimento si assiste ad un importante incremento della produzione di modelli lignei per l'architettura: il modello assume una funzione specifica di comunicazione del progetto architettonico. Nelle grandi costruzioni a partire dal Quattrocento, i modelli vengono spesso utilizzati per comunicare il progetto ai committenti (fig. 3.2). Filippo Brunelleschi (1377-1446) si aggiudicò la commessa per la costruzione della Cupola del Duomo di Firenze presentando un grande modello in mattoni e legno "sanza alchuna armadura"². Il modello, o meglio la *maquette*, come sottolinea Tomàs Maldonado, serve per "vedere in anticipo" lo sviluppo degli edifici e permette al committente, che è una figura sempre più definita, di valutare non solo la validità architettonica, ma anche aspetti

Giorgia Potestà

più pratici, come i costi di costruzione o la disposizione delle parti dell'edificio (Maldonado, 2015)³. La funzione dunque del modello non è più solo di rappresentazione e comunicazione di un progetto al committente o alla città, ma assume anche quella di simulazione del progetto⁴.

La possibilità dunque di poter scomporre l'architettura nei suoi elementi costitutivi, e ricomporla nella rappresentazione del progetto, o ai fini dello studio e della comprensione di una preesistenza, è una pratica nota alle discipline della rappresentazione. A questa operazione di codifica delle parti di un manufatto e dell'analisi delle relazioni fra le parti in un modello BIM, si può avvicinare il concetto di Analisi Grafica. Come già descritto da Mario Docci nelle sue pubblicazioni (1989, 2009, 2017) i fondamenti teorici dell'analisi grafica passano per la metodologia dello strutturalismo, ovvero la scomposizione di un fenomeno nelle sue parti costruttive per classificarle e quindi nel ricomporle in modo da comprenderne le relazioni che le legano reciprocamente col tutto. (figg. 3.3 - 3.4) La discretizzazione dell'oggetto architettonico si sviluppa attraverso la scomposizione e ricomposizione della "scatola" spaziale, l'analisi dei suoi elementi costitutivi, la loro classificazione e descrizione, infine la verifica delle possibili regole che sottendono la combinazione tra gli elementi⁵ (Docci, Chiavoni, 2017, p. 6). In questo senso, così come avviene per l'analisi grafica con il disegno, che si identifica come modello grafico di comprensione, lo stesso processo avviene nelle operazioni di scomposizione e ricostruzione degli elementi del manufatto architettonico reale nel modello BIM. Ed il modello BIM stesso diviene un modello di conoscenza e comprensione della realtà architettonica.

Questa fase di scomposizione, il cui obiettivo è di individuare gerarchicamente gli elementi del manufatto edilizio e la loro definizione ontologica, è di cruciale importanza nella definizione delle componenti di qualunque modello tridimensionale ed in particolar modo nella realizzazione di un modello BIM, dove più che mai è necessaria chiarezza sulle relazioni e dipendenze reciproche tra le parti. Una volta completata la fase di analisi e scomposizione degli elementi occorre ricomporli nella creazione del modello stesso.


Nella modellazione del manufatto in ambiente BIM, e quindi della sua ricostruzione, si è proceduto seguendo i passi di una vera e propria realizzazione edilizia; logica questa, che articola il processo BIM in tutte le sue fasi, dagli elementi grandi

a quelli di maggior dettaglio. Contestualmente occorre seguire la logica delle fasi edilizie, e quindi si è proceduto modellando per livelli, dal primo registro alla lanterna secondo le fasi edilizie individuate e poi dal generale al particolare come nella logica di realizzazione. L'uso del BIM in questo senso amplia l'indagine conoscitiva del manufatto, in quanto impone la definizione della composizione stratigrafica, andando oltre la "pelle" dell'edificio. Come già detto, necessita inoltre di una preventiva discretizzazione del dato di partenza.

Il Battistero di San Giovanni è stato destrutturato attraverso un processo preliminare di descrizione semantica, in cui si sono individuati gli elementi architettonici delle facciate su base ortofoto (fig. 3.5), ancor prima dell'acquisizione dei dati di rilievo. Questa scomposizione ha permesso di individuare anche i diversi piani di riferimento in alzato nonché di profondità della facciata stessa, gli elementi strutturali e decorativi, propri di un linguaggio architettonico specifico. Inoltre, sempre a partire dall'ortofoto dell'esterno, si sono individuati gli elementi gerarchici che compongono le facciate (fig. 3.6), e la definizione delle diverse tipologie architettoniche: sono state classificate preventivamente le bucatore come porte e finestre, così come le colonne, i pilastri e soprattutto i capitelli. Questo ha consentito in maniera preventiva di andare a definire i tipi architettonici, ed ha attuato la possibilità di una necessaria semplificazione nella rappresentazione tridimensionale in ambiente BIM. Sin dalle prime operazioni infatti, emerge il problema della conversione dei dati di rilievo in oggetti parametrici, e la soluzione del quesito cade necessariamente nella scelta di un livello di semplificazione, che deve essere calibrato in funzione degli obiettivi specifici del modello e del tipo di analisi a cui sarà sottoposto. Il risultato, a partire da un modello estremamente rispondente al reale come la nuvola di punti, sarà comunque un modello discretizzato in ambiti di gestione e restituzione grafica, con significative semplificazioni, capace però di restituire l'aspetto percepito ed una migliore possibilità di gestione per la rappresentazione digitale (Verdiani et. Al., 2018, p. 1118). Come ribadito anche da ricerche precedenti, è necessario stabilire a priori il livello di sviluppo LOD dei singoli elementi che comporranno il modello, ma anche il livello di dettaglio grafico LOD delle geometrie modellate, poiché vincoleranno la fase di modellazione e saranno dettati da specifici obiettivi e

Scarica e inserisci oggetti BIM nel progetto Revit

Attraverso BIM.archiproducts plug-in è possibile scaricare 50 oggetti al giorno. Il plug-in è basato su tecnologia Autodesk Revit ed è stato progettato sulle specifiche esigenze di progettisti e imprese di costruttori.




BIM.archiproducts plug-in, il sistema di gestione dei file BIM direttamente nel tuo progetto

Trova il prodotto che cerchi tra le categorie presenti su BIM.archiproducts (Arredo, Bagno, Cucina, Illuminazione, Outdoor, Ufficio, Contract, Wellness, Decor, Finiture, Edilizia, Lifestyle) e clicca su "Browse" per scaricare e inserire i file direttamente nel tuo progetto. Una volta scaricati, i file BIM vengono archiviati sul cloud di BIM.archiproducts.com.

Cos'è il BIM?

Building Information Modeling (BIM) è un processo di progettazione intelligente basato su modelli 3D che fornisce agli architetti, agli ingegneri e ai professionisti nell'ambito delle costruzioni metodo e strumenti per progettare, costruire e gestire in modo più efficiente gli edifici e le infrastrutture.

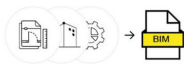



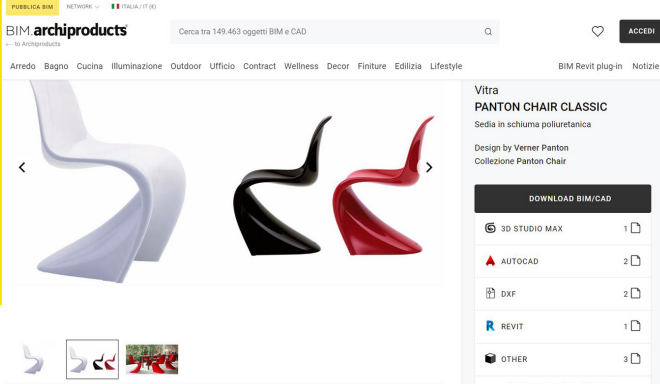
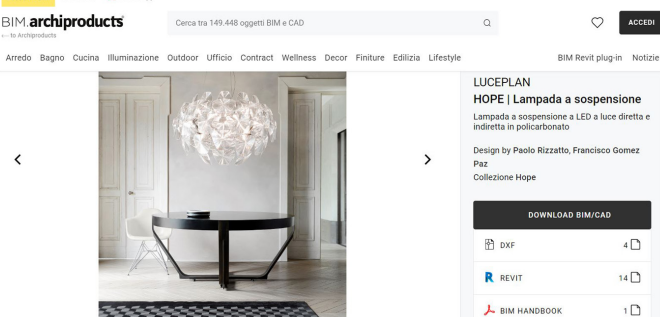
Molto più di un semplice file

Gli oggetti BIM contengono tutte le informazioni di cui progettisti e costruttori hanno bisogno: modelli 3D codificati, dati tecnici funzionali e prestazionali, materiali, dati 4D (temporali), 5D (contabilità), 6D (sostenibilità), 7D (piani di manutenzione e dismissione), etc. tutto racchiuso all'interno di un modello pronto per essere inserito in un progetto e messo a capitolato.

Progettazione smart e condivisa

Un insieme di oggetti intelligenti differenti creano un progetto BIM. È possibile condividere un modello BIM tra architetti e consulenti che lavorano insieme allo stesso progetto (online ed in rete). Il BIM è infatti un metodo di progettazione collaborativa che consente di integrare in un unico modello le informazioni utili in ogni fase della progettazione.

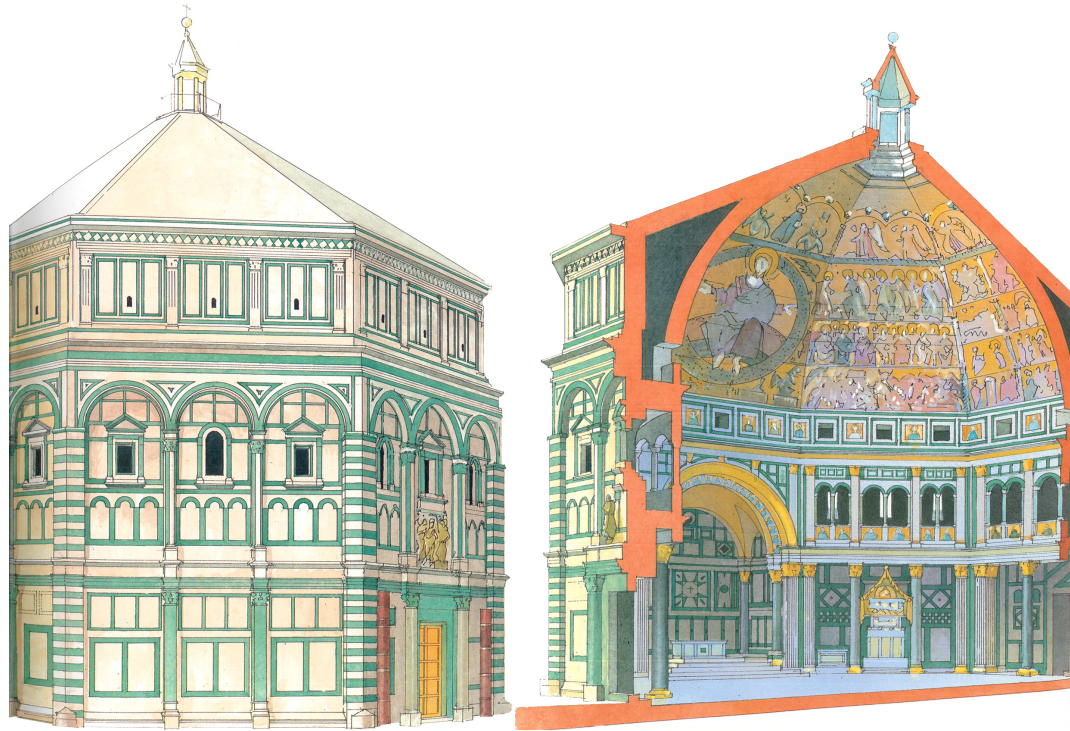



3.1/ Il plug-in BIM.archiproducts per caricare gli oggetti all'interno del proprio browser di progetto. Al lato, alcuni tra gli oggetti di design scaricabili in formati BIM all'interno del sito internet.



3.2/ Modelli lignei del progetto di Brunelleschi per la cupola di Santa Maria del Fiore (1420-1440 circa, Firenze, Museo dell'Opera di Santa Maria del Fiore) e della Basilica di San Pietro di Antonio da Sangallo il Giovane (1484-1546, Basilica di San Pietro, Città del Vaticano).

Giorgia Potestà



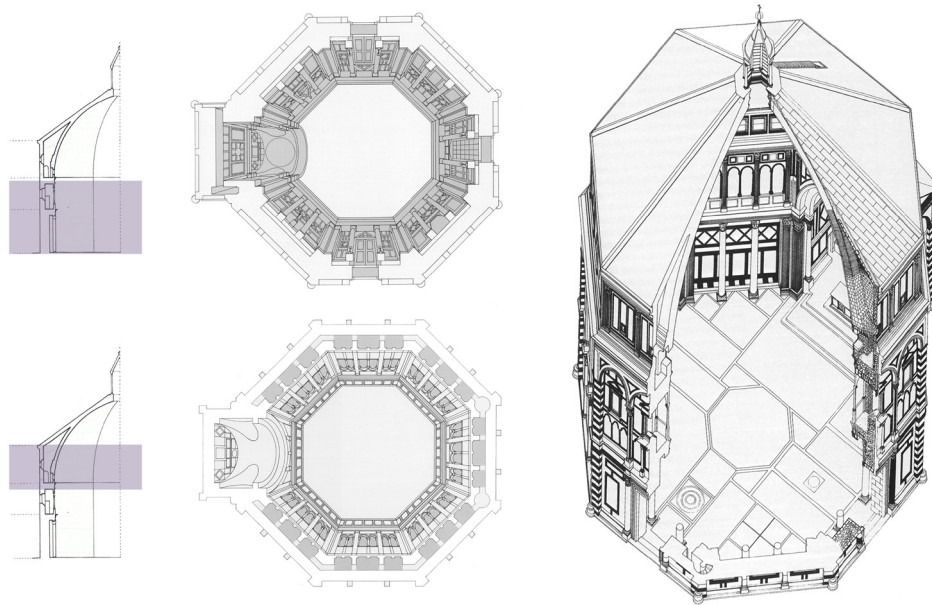
3.3/ Spaccato prospettico del Battistero di San Giovanni. Studio Illibill, Firenze. Immagini tratte da Paolucci, A., 1991, pp. 24 - 25..

finalità.

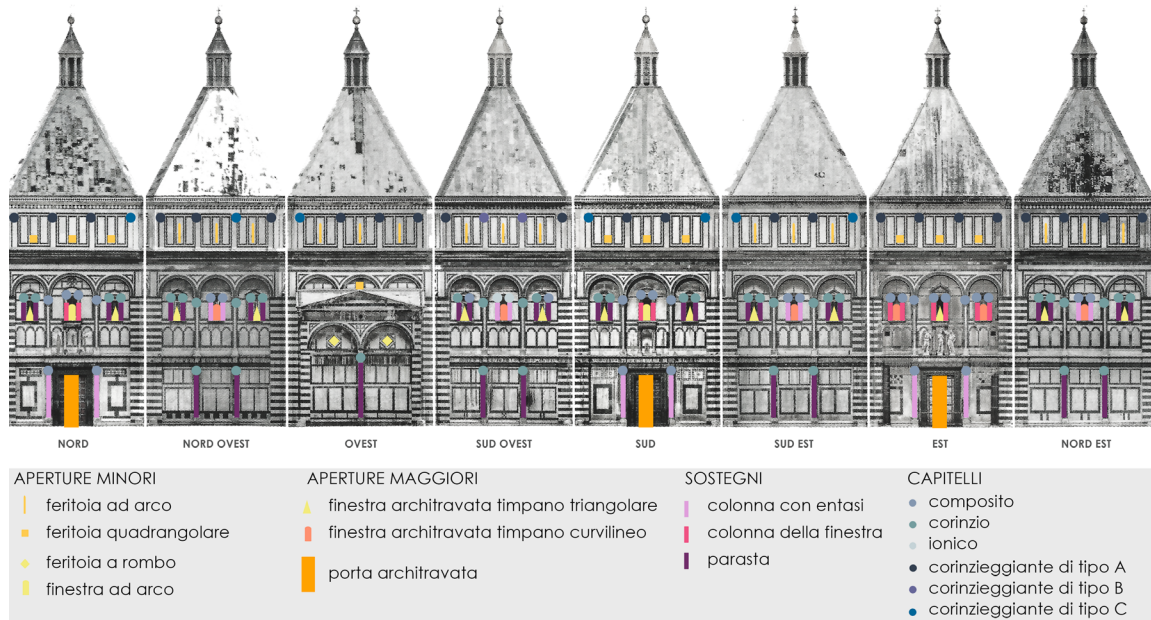
3.1 Scomposizione semantica

Come già si è detto, ogni manufatto può essere scomposto in un insieme coordinato di elementi semplici e complessi, che ne determinano assieme la struttura. Possiamo definire l'analisi e la scomposizione di queste parti all'interno di un'architettura costruita come scomposizione semantica. In questo senso, la scomposizione è semantica, in quanto ogni elemento assume un suo significato riconoscibile ed un suo ruolo all'interno del complesso sistema del linguaggio architettonico, e stringe rapporti sintattici e proporzionali con gli altri elementi. Questa operazione facilita lo studio dei monumenti storici ed integra informazioni ed attributi eterogenei, utili a descrivere e caratterizzare l'oggetto in questione. Qualunque modello può essere segmentato e organizzato come un sistema di architetture cognitive; l'edificio può essere descritto

come una raccolta di elementi organizzati gerarchicamente, identificati da un vocabolario architettonico specifico. La scomposizione del modello in sotto-elementi può essere basata sull'analisi e sulla composizione della struttura formale degli oggetti architettonici, organizzati in livelli gerarchici e classificazioni di aggregazione. Un'attenzione particolare in questa operazione va posta nell'analizzare come questi oggetti sono assemblati da un punto di vista tipologico e morfologico poiché questa problematica si presenta ogni volta che si approccia alla modellazione BIM di un manufatto: comprendere come ogni elemento si costituisce e come si lega agli altri all'interno del modello. Descrivere semanticamente gli edifici storici richiede inoltre un vocabolario architettonico correlato dalla conoscenza di tutte quelle componenti strutturali, funzionali e decorative, come modanature, ordini architettonici, trabeazioni e profili, e delle loro caratteristiche geometriche e topologiche.

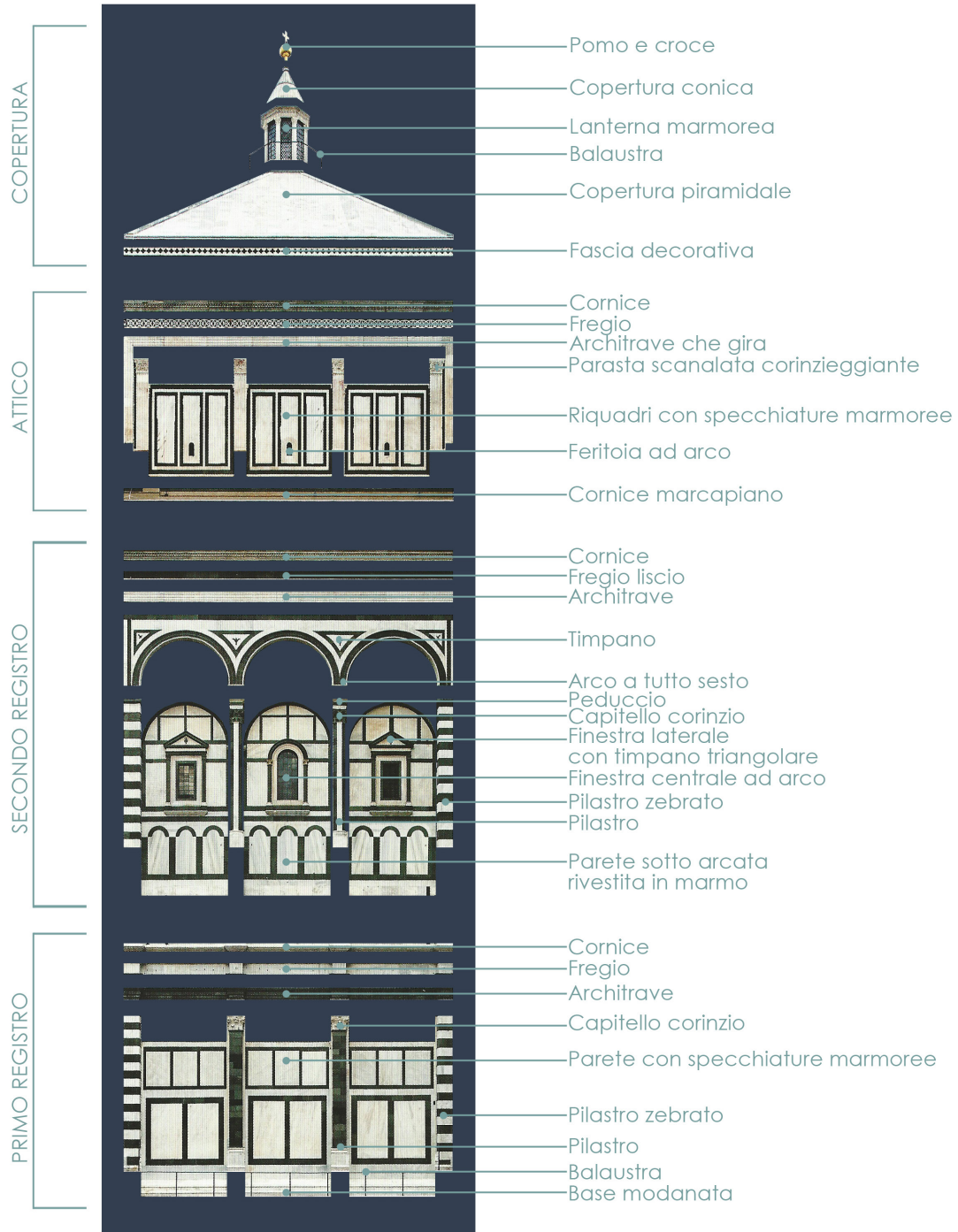


3.4/ Studio sulla composizione architettonica del Battistero. Esploso assometrico in pianta al livello del pian terreno e del matroneo, e in alzato. Immagini tratte da Paolucci, A., 1991, pp. 215 - 291, e Pietramellara, C., 1973, tav. VIII.



3.6/ Analisi tipologica ed individuazione degli elementi architettonici dell'esterno del Battistero su base ortofoto. Vengono analizzate le aperture, i sostegni verticali e i capitelli.

Giorgia Potestà



3.5/ Scomposizione per piani dell'architettura di una delle facciate del Battistero priva di portale. Elaborazione su base ortofoto.

Le tecniche di acquisizione dati oggi applicate sapientemente al patrimonio storico costruito, ci restituiscono una grande quantità di informazioni metriche e colorimetriche da poter analizzare per condurre studi sull'architettura (Remondino, 2014). La quantità di modelli digitali prodotti fa emergere una nuova esigenza, ovvero quella di classificare ed organizzare i dati ottenuti, attraverso strumenti di supporto della fase interpretativa. La strutturazione delle informazioni digitali per un'agevole e speditiva segmentazione, classificazione ed analisi dei dati raccolti tramite acquisizione TLS o SfM, è dunque necessaria affinché i modelli diventino un reale supporto alle indagini architettoniche sul patrimonio costruito (Campi et. Al., 2018).

Nelle ricerche fino ad oggi condotte, sono stati presentati diversi approcci per la segmentazione delle nuvole di punti, come procedure di annotazione semantica (Gao et. Al., 2015), *color similarity* e *spatial proximities*, infine *shape detection* in ambiente 3D (Hichri et. Al., 2013). Tale segmentazione può avvenire in maniera manuale, semi-automatica ed automatica. Nel caso dell'annotazione semantica, queste procedure sviluppano un'ontologia specifica del dominio, basata sulle specifiche IFC⁶, che codificano la conoscenza nel campo delle AEC (Architecture Engineering Construction)⁷. Questo tipo di segmentazione è basata sulla logica del Web semantico ed utilizza una conoscenza a priori degli oggetti e dell'ambiente. La conoscenza viene estratta da un database fatto di informazioni, disegni CAD, GIS, report tecnici che appartengono ad uno specifico campo, e costituisce la base della "rilevazione selettiva" basata sulla ricognizione degli oggetti nelle nuvole di punti. Nella segmentazione per *color similarity* e *spatial proximities* viene utilizzato un algoritmo su di una regione crescente che lavora per vicinanza di classe tra un punto e l'altro per creare regioni che vengono unite e raffinate sulla base di relazioni colorimetriche e spaziali. Altri metodi si basano sul rilevamento della forma (*shape detection*), utilizzando anche in questo caso un algoritmo applicato ad una regione crescente insieme a vettori normali adottati per segmentare ciascuna regione planare; altri si basano su una distanza misurata tra facce planari. Gli approcci alla segmentazione della nuvola di punti all'interno delle pubblicazioni degli ultimi anni sono i più vari, ma tutti accomunati dalla possibilità di definire un procedimento automatico nel riconoscimento delle parti e nell'istruire le macchine a questo

scopo (fig.3.7). Gli algoritmi generalmente utilizzati come *Machine* e *Deep Learning*, possono aiutare a caratterizzare, descrivere e interpretare meglio la scena rilevata. Con il termine *Machine Learning* ("apprendimento automatico"), si fa riferimento all'abilità delle macchine di apprendere senza essere state esplicitamente e preventivamente programmate. L'apprendimento supervisionato è una categoria del *Machine Learning* che prevede l'utilizzo di un set di dati in input e di informazioni relative ai risultati attesi, per l'identificazione di una regola generale che colleghi i dati in ingresso con quelli in uscita. Per la classificazione di nuvole di punti o elementi architettonici, le categorie semantiche vengono apprese dai dati di input forniti manualmente sotto forma di *patch* o porzioni annotate di nuvola. Oltre alle classi semantiche, ai dati di *training* sono associate i cosiddetti *features*, particolari caratteristiche radiometriche o geometriche che permettono di distinguere una classe dall'altra. Queste informazioni vengono utilizzate per addestrare un modello predittivo specifico o una rete neurale, in grado di predire con un certo livello di accuratezza la segmentazione semantica dell'intero set di dati. Le soluzioni sviluppate da Remondino (Remondino et. Al., 2018) si basano su varie reti neurali e dati di *training*, e dopo una fase di *learning*, la rete neurale esegue una *prediction* su tutto set di dati in esame al fine di fornire le stesse classi fornite nella fase di *training*⁸ (fig. 3.8). Le sperimentazioni e i risultati dimostrano che gli approcci proposti sono affidabili, replicabili ed efficaci in vari scenari, fornendo automaticamente informazioni metriche. Nel settore dell'HBIM (Heritage Building Information Modeling), caratterizzato dall'eterogeneità dei dati e delle informazioni, la classificazione delle forme in base a parametri dimensionali, geometrici e semantici sono passaggi utili e necessari per l'interpretazione e la classificazione dei caratteri del costruito. Tuttavia, un modello digitale può essere considerato anche come un'interfaccia di accesso preferenziale a diversi tipi di dati nel campo del cultural heritage, come per esempio informazioni sullo stato di conservazione del manufatto, sulla geometria oppure sulla formulazione di ipotesi sul suo aspetto passato (De Luca et. Al, 2011).

3.2 Ricostruzione.

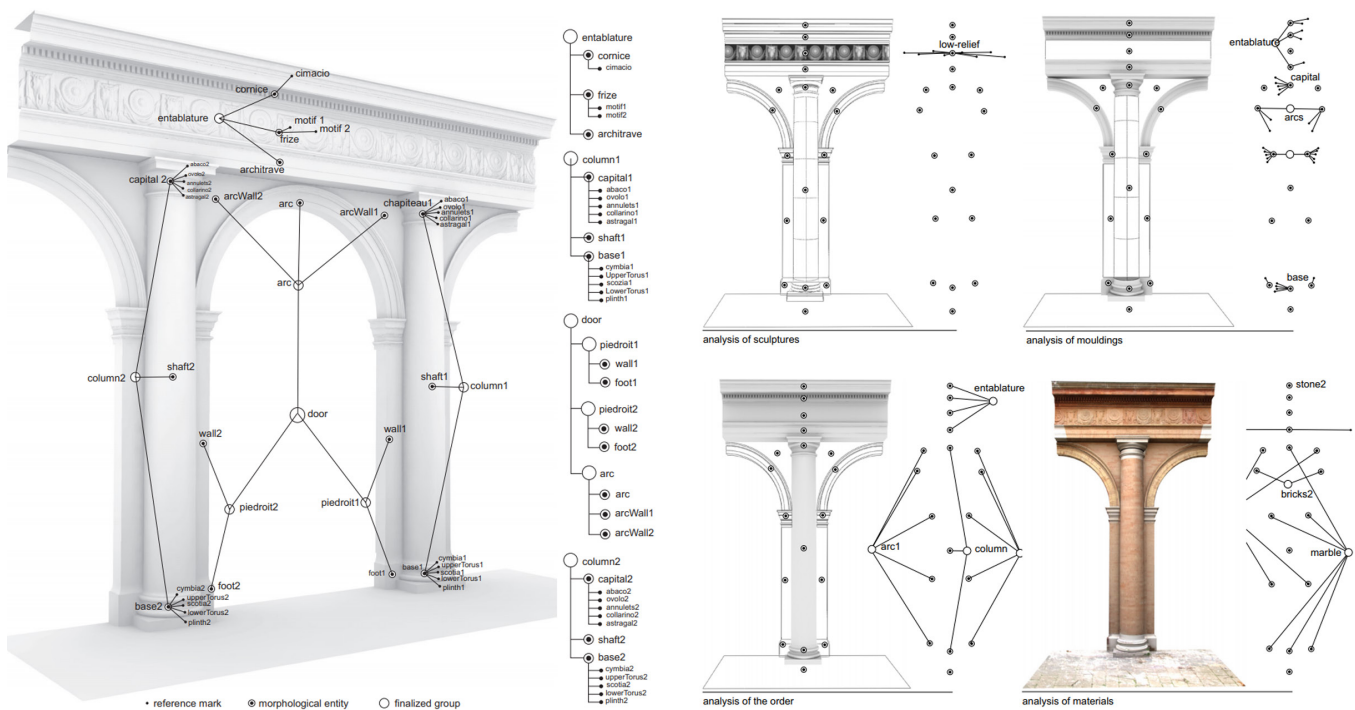
Fase immediatamente successiva al riconoscimento dei caratteri morfologici dell'architettura, è quella "manuale" della

Giorgia Potestà

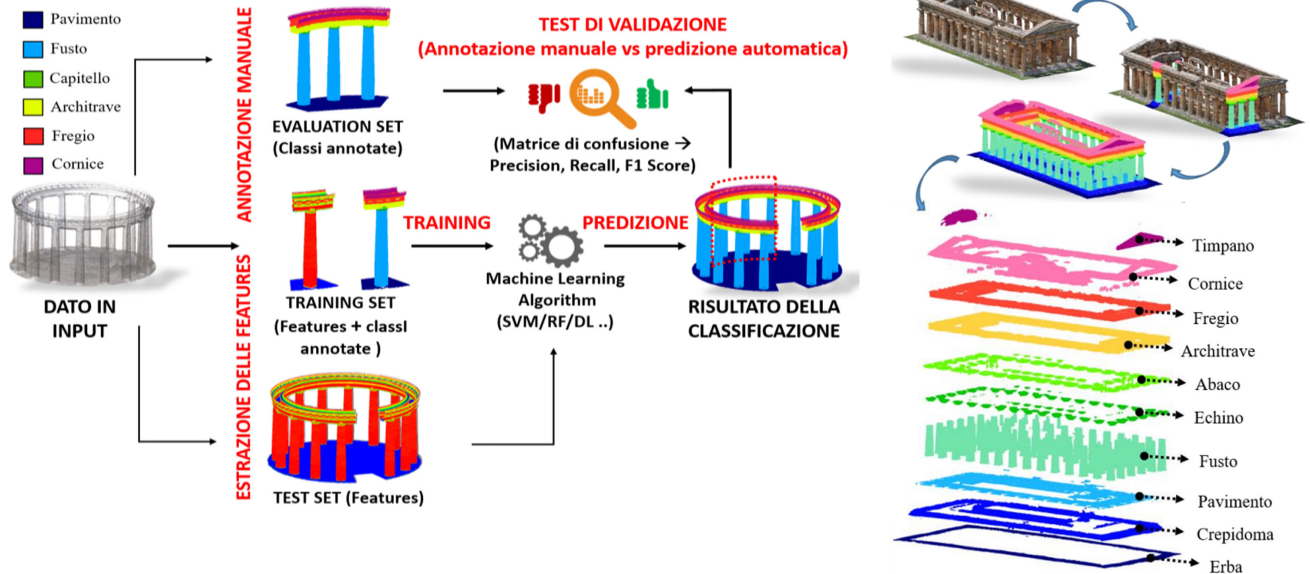
modellazione e caratterizzazione degli elementi individuati. Nella modellazione del Battistero è stato impossibile utilizzare componenti tipologici predefiniti, attingendo alle librerie di oggetti parametrici già presenti nel software BIM Authoring, ma si è resa imprescindibile un'operazione di nuova modellazione per tutte le tipologie di famiglie impiegate. In molti casi si è addirittura reso necessario modellare famiglie diverse anche per elementi architettonici simili ma geometricamente differenti, e che non era possibile gestire come elementi parametrici unici. Nella fase di modellazione, lo studio si è concentrato sull'esterno dell'edificio, tralasciando ad approfondimenti futuri la modellazione dell'interno e del sotterraneo; scelta dettata da diverse ragioni, che tuttavia non compromettono la definizione del processo operativo. All'importazione della nuvola di punti in Revit, segue l'inserimento dei piani di riferimento, soprattutto in alzato; questi livelli, posti ad altitudini caratteristiche, rintracciate dall'ana-

lisi della nuvola di punti utilizzata come guida per il catalogo degli oggetti tridimensionali, consentono di posizionare correttamente gli elementi come porte, finestre e cornici modanate, soprattutto se si tratta di famiglie di elementi caricabili e quindi modellate esternamente al progetto. Essi funzionano come dei veri e propri vincoli per gli oggetti parametrici ivi posizionati. A partire da un livello terra, in corrispondenza dell'innesto della superficie muraria con la piazza, sono stati definiti ben 57 livelli di riferimento (fig. 3.9).

L'operazione di ricostruzione si è svolta sulla base dell'individuazione di due categorie di elementi: elementi architettonici varianti e replicabili ed elementi decorativi invariati unici. La prima categoria di oggetti riguarda in particolare tutti quegli elementi che è possibile replicare all'interno del progetto e del modello stesso, anche se caratterizzati dalla varianza di alcuni parametri o delle proprietà di tipo ed istanza; in questa categoria ricadono soprattutto gli ele-



3.7/ Descrizione semantica della morfologia dell'edificio secondo tre livelli di descrizione: semantica, strutturale e rappresentativa. Immagine tratta da De Luca et al., 2011, pp. 229 - 230.



3.8/ Schema del workflow di classificazione supervisionata geometry - based e una applicazione al Tempio di Nettuno di Paestum. Immagini tratte da Grilli, 2019, pp. 3 - 6.

menti architettonici del manufatto. Nella seconda rientrano invece tutti quegli oggetti che costituiscono un *unicum* all'interno del progetto e che sono per lo più elementi decorativi come statue, suppellettili e bassorilievi. Le due categorie di elementi si differenziano soprattutto per la metodologia impiegata nella loro modellazione, in quanto, a differenza degli elementi replicabili, che è possibile modellare direttamente nella piattaforma BIM *authoring*, tramite quindi un processo di modellazione “interna” articolata per tipologie di famiglia, gli elementi unici seguono invece un processo di modellazione esterna alla piattaforma BIM, attraverso operazioni di generazione di superfici *mesh* dalla nuvola di punti e successiva importazione, come famiglia, all'interno del progetto in BIM, senza tuttavia alcuna possibilità di modifica (fig. 3.10).

3.2.1 Le tipologie di famiglia utilizzate.

La modellazione cosiddetta “interna” del Battistero è stata eseguita attraverso l'uso di famiglie, distinguendone tre diverse tipologie: famiglie di sistema, caricabili e locali. La

famiglia contiene la definizione geometrica dell'elemento ed i parametri utilizzati, e controlla e definisce ogni istanza dell'elemento stesso. È necessario pianificare a priori e stabilire il modo in cui ogni famiglia si comporterà all'interno del modello; la progettazione del funzionamento e l'elenco delle informazioni necessarie per la famiglia, infatti, faciliteranno le decisioni per la creazione della stessa nell'Editor. Questa fase preliminare di previsione del comportamento della famiglia nel modello è necessaria soprattutto alla scelta della tipologia dei parametri da modellare: sappiamo infatti che ogni famiglia viene innanzitutto catalogata per categoria, che consente di raggruppare e ordinare le famiglie nelle *Content Libraries* ma anche nel Browser di progetto, e che ogni famiglia ha degli attributi varianti, che possono essere espressi come tipi o come istanze. Le proprietà del tipo comprendono informazioni applicabili a tutte le istanze del tipo di famiglia nel modello; le modifiche apportate pertanto alle proprietà del tipo vengo applicate alle istanze della famiglia create a partire da quel tipo. Le proprietà di istanza invece, contengono

Giorgia Potestà

informazioni relative ad un'istanza specifica di un elemento della famiglia inserita nel modello, pertanto le modifiche apportate alle proprietà di istanza verranno applicate solamente a quell'istanza specifica della famiglia.

Le famiglie di sistema sono per definizione famiglie che vengono modellate direttamente all'interno del progetto specifico e vengono utilizzate per modellare elementi di costruzione di base, quali muri, tetti e pavimenti. Le famiglie caricabili sono famiglie che non vengono create specificatamente per un modello e vengono caricate nei modelli a seconda delle esigenze. Esse vengono utilizzate per creare componenti di costruzione, sono spesso ospitate da famiglie di sistema, e vengono modellate all'esterno del progetto specifico ma sempre all'interno della piattaforma BIM. Possono inoltre essere composte da altre famiglie caricabili, come famiglie di profilo o di modello generico metrico; in quel caso vengono definite famiglie nidificate. Le famiglie locali, infine, sono elementi personalizzati creati all'interno del modello; si utilizzano quando è necessario disporre di una geometria univoca che non si prevede di riutilizzare.

3.2.2 Modellazione degli attributi geometrici LOG.

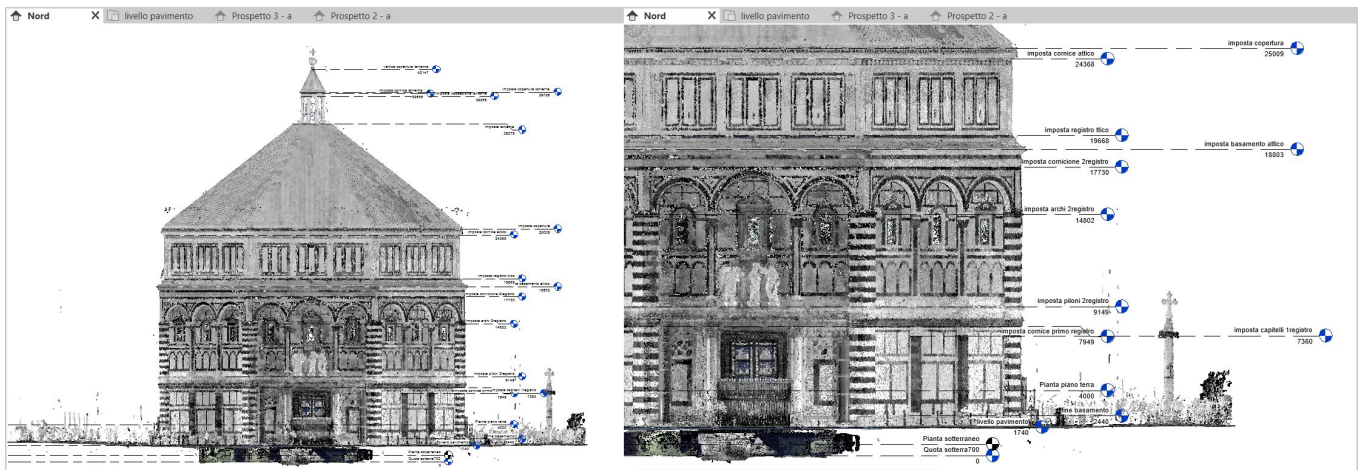
3.2.2.A Elementi costruttivi: famiglie di sistema e locali.

La definizione della geometria del modello è iniziata dalla definizione dell'involucro esterno del monumento attraverso la generazione di una massa, rilucidando direttamente la nuvola di punti nel browser di progetto (fig.3.11). La modellazione della massa consente in primis di individuare l'ingombro e dunque la cubatura del manufatto, nonché la possibilità di applicare a questa elementi vuoti o pieni associati direttamente ai piani di riferimento individuati, come muri, sistemi di facciata continua e solai definiti a partire dalle superfici scelte della massa, utilizzando direttamente i comandi di "volumetria e cantiere". Una prima massa è stata definita per la porzione del monumento dal piano terra all'imposta della copertura al tetto della scarsella, mentre una seconda massa ha riguardato il corpo dell'abside quadrangolare. Sono state poi selezionate le superfici relative alla facciate e utilizzate per le estrusioni dei muri parametrici come famiglie di sistema, a partire dal tipo "muro generico". In un secondo momento, grazie all'analisi delle informazioni reperite in bibliografia, (Pietramellara, 1973, p. 16), è stato possibile definire la stra-

tigrafia muraria del Battistero BIM. Essa è costituita da un andamento piuttosto regolare dello spessore murario, variabile tra esterno ed interno di soli 2 cm per tutto il perimetro e, di conseguenza, modellato come muro parametrico con stratigrafia tipica della muratura a sacco: filari di pietra a bozze di circa 21 cm per lo strato interno ed esterno e un nucleo interno di conglomerato, pietra e pietrisco di circa 138 cm. In questo caso il muro viene assimilato ad un muro parametrico con spessore costante misurato in pianta di 180 cm; tuttavia qualora così non fosse, sarebbe necessario modellarlo attraverso i comandi classici della geometria booleana a disposizione dell'utente nella piattaforma. Grazie alle indagini diagnostiche, in particolare al geo-radar, condotte dalla UCSD, si è aggiunto alla muratura un ulteriore strato interno ed esterno di rivestimento a lastre di marmo dello spessore di 8 cm (fig. 3.12); questo dato ha trovato anche un ulteriore riscontro in bibliografia (Gurrieri, 2017, p. 126). Alla stessa massa, si è applicato poi il solaio al livello di terra, vincolando direttamente al piano di riferimento relativo.

E' importante sottolineare come, il passaggio dalla nuvola di punti al modello parametrico imponga un ulteriore step di conoscenza del manufatto, che vada oltre la superficie indagata dallo scanner, e che in qualche modo arricchisce la conoscenza profonda del manufatto architettonico. Modellare in BIM un oggetto del patrimonio storico, significa non solo conoscerlo attraverso le tecniche di rilevamento integrato, ma mettere a sistema tutta una serie di informazioni che derivano dalla ricerca bibliografica, iconografica, da indagini diagnostiche del manufatto, e che, offrendo un database di informazioni, consentono una conoscenza a 360 gradi dell'individuo architettonico. A questo proposito, un esempio all'interno del modello è l'inserimento, datato al 1514, della catena in ferro di dimensioni 4,5 x 4,5 cm a cerchiatura del monumento all'imposta della cupola, a 17,72 metri di altezza in corrispondenza del cornicione terminale del secondo registro; le informazioni circa la presenza e la dimensione della catena si sono rintracciate grazie alla ricerca storica⁹.

Anche il tetto piramidale del Battistero e quello della scarsella sono stati modellati *in place* come famiglie di sistema. La copertura della scarsella è stata realizzata tramite l'estrusione della famiglia tetto da perimetro, attraverso la modellazione di due coperture distinte e successivamente unificate: una prima a doppia falda e una seconda a falda unica inclinata (fig.



3.9/ Impostazione dei livelli di riferimento in alzato sulla base della nuvola di punti.

3.13). Attraverso l'utilizzo del tetto da perimetro è possibile definire i bordi dei muri sui quali impostare la copertura, nonché i lati che ne definiscono le inclinazioni delle falde; altre possibilità di modellazione della copertura messe a disposizione dell'utente sono il tetto da estrusione, mediante l'estrusione di un profilo disegnato, e il tetto generato dalla superficie di una massa. Successivamente è possibile, nel caso dei tetti inclinati, il raccordo tra la falda ed il muro sottostante attraverso l'imposizione dei vincoli di associazione tra gli elementi. Entrambe le coperture costituiscono un *unicum* per il particolare rivestimento a lastre di marmo bianco, di particolare rilevanza nel tessuto edilizio del centro storico fiorentino, al contrario fortemente caratterizzato dalla prevalenza del cotto rosso. Anche la copertura della lanterna, rivestita in lastre di piombo, è stata modellata con lo stesso procedimento. Passo immediatamente successivo alla realizzazione dei muri ha riguardato la modellazione dei piloni cantonali zebraati, che, partendo dal piano terra, arrivano a sostenere i setti ad archi che caratterizzano le facciate del secondo registro. Come osservato dalla nuvola di punti e dalle prime analisi metriche, questi presentano geometrie apparentemente simili tuttavia molto diverse tra loro: alcuni più larghi, altri con profondità variabili. Pertanto si è scelto di modellarli come famiglie locali, e di conseguenza vincolate al progetto specifico. In questo modo è stato possibile realizzarli tutti rilucidando

il perimetro dalla nuvola di punti come semplice estrusione vincolata ai piani di riferimento di imposta e termine preventivamente definiti. La realizzazione delle zebraature, ovvero l'alternanza di marmo bianco delle Alpi Apuane e verde di Prato attribuita storicamente ad Arnolfo di Cambio nel tardo Duecento, è stata realizzata attraverso successivi passaggi di suddivisione delle superfici estruse in regioni rilucidate dalla nuvola di punti, alle quali è stato successivamente applicato il materiale specifico. La stessa operazione di suddivisione in regioni delle superfici è stata impiegata anche per la suddivisione a lastre del rivestimento marmoreo, prevalentemente bicromo, delle intere facciate del monumento (fig.3.14).

3.2.2.B Elementi funzionali: famiglie caricabili e famiglie locali.

Modellate le parti costruttive del monumento ci si è dedicati ad arricchire il progetto delle facciate con la modellazione degli elementi architettonici funzionali e degli ordini architettonici. In questa fase del lavoro si è dedicato molto tempo, innanzitutto a comprendere quale fosse la strada migliore da seguire per la modellazione di oggetti piuttosto complessi, a quale dovesse essere il grado di dettaglio di ciascun elemento e soprattutto con che metodologia intraprendere la modellazione in funzione della possibilità di replicarli nel progetto ma anche di poterli riutilizzare in futuro.

Giorgia Potestà

Tutti gli oggetti, come cornici, cornicioni e modanature delle facciate, sono state realizzate come modelli locali, quindi legati al browser di progetto specifico. Tuttavia, tutti questi elementi sono stati generati *in place* come estrusioni su percorso, per le quali si è preventivamente modellata una famiglia di profilo metrico, successivamente caricata all'interno del progetto e utilizzata come dima per l'estrusione. Questo processo, dispendioso dal punto di vista del tempo impiegato, ha tuttavia consentito di creare una libreria parametrica per tutti i profili modanati del monumento, e che sarà possibile riutilizzare in altri progetti. E' evidente che la possibilità di riutilizzo di questi profili modananti sarà demandata al ri-proporzionamento della parti in funzione dell'osservazione e dell'analisi del caso specifico.

Tutti i profili sono stati rilucidati su snapshots ad alta risoluzione della nuvola di punti in ambiente CAD e successivamente importati in Revit, all'interno delle famiglie di profilo metrico predisposte (fig. 3.15). Per quanto riguarda i cornicioni esterni del primo e secondo registro e dell'attico, si è reso possibile un confronto tra i profili ricavati dalla nuvola di punti con quelli precedentemente rilevati e pubblicati in bibliografia (Paolucci, 1994, pp. 140-142). Una possibile alternativa a questa procedura, e che è stata utilizzata per le cornici più semplici, ad andamento orizzontale, è quella di estrarle come famiglie di sistema "estrusioni muro", e quindi direttamente legate alla superficie muro ospitante. Anche in questo caso occorre, all'interno delle proprietà, definire materiale e profilo di estrusione, caricandolo come famiglia esterna.

Elementi modellati come famiglia caricabile invece, sono gli infissi del monumento, come porte e finestre. La modellazione dei portali è partita dalla modifica di una famiglia porta già esistente nelle librerie di Revit, e di cui si è duplicato il tipo per procedere con le modifiche. Si è scelta una porta a doppia anta, che poi si è proceduto a modificare per renderla il più conforme possibile e quella rilevata. Innanzitutto è stata modificata la dimensione delle ante e del vano, e poi si è proceduto alla modifica geometrica del telaio e dei materiali; per ultimo, alle ante in bronzo si sono applicate le formelle dorate. Come precedentemente ribadito, anche per le famiglie caricabili è necessario impostare dei piani di riferimento che vincolano le estrusioni dei componenti e gli host.

Modellazione ancora più complessa ha riguardato le finestre, le quali seppur simili geometricamente tra loro sono

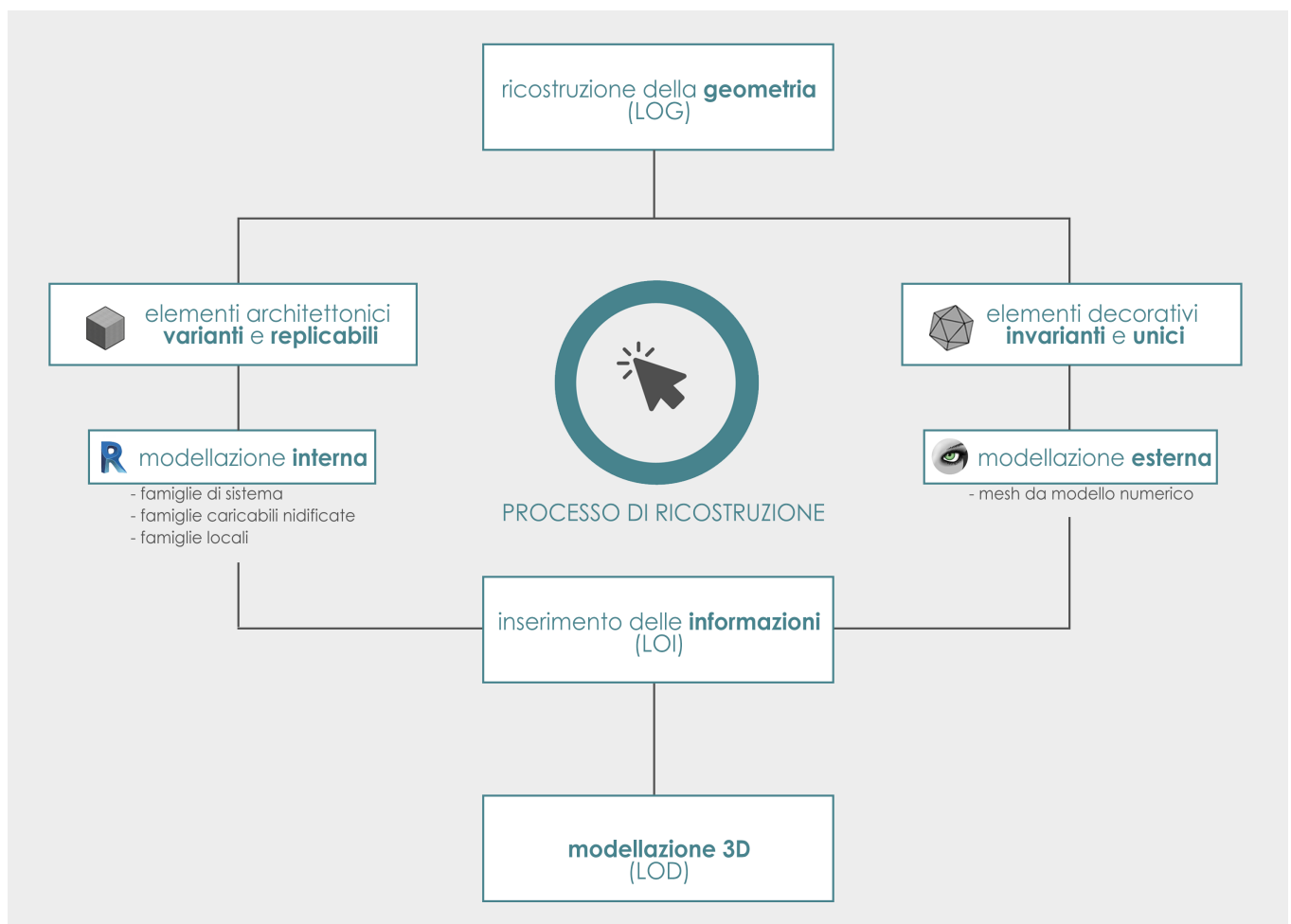
state trattate come tipi diversi e quindi modellate in diverse famiglie caricabili. Come si è visto nell'individuazione gerarchica degli elementi architettonici, si sono riconosciute varie tipologie di finestre, ad arco, architravate a timpano tondo, a timpano triangolare ampie e strette, a rombo, trionfali, e due tipologie di feritoie nell'attico. Per ogni famiglia caricabile finestra si è modellato a partire da una tipologia già presente in libreria, come per le porte, andando a duplicare il tipo. Per prima cosa si sono impostati i piani di riferimento e le quote a definire il vano finestra e l'altezza del davanzale come parametri; in secondo luogo si è modellato il telaio in bronzo, con parte fissa e parte mobile, e la tipologia di vetro semitrasparente di colore verde-blu. Successivamente si sono impostati piani di riferimento e quote per la modellazione del davanzale e del timpano. A partire dalla vista in pianta dell'infisso, si sono predisposti livelli di riferimento per tutti gli oggetti del davanzale e degli altri elementi architettonici, come l'architrave ed il timpano. Dopo aver impostato i piani di riferimento idonei, occorre procedere alla quotatura degli stessi e alla definizione dei parametri relativi; è opportuno tenere a mente in questa fase che nella quotatura dei piani di riferimento inseriti occorre seguire la logica di costruzione degli oggetti che si stanno annotando: infatti il software lavora secondo delle vere e proprie logiche di realizzazione degli oggetti, e di conseguenza nelle operazioni di quotatura e impostazione dei parametri occorre seguire un determinato ordine.

Un tipo di annotazione spesso utilizzata nella modellazione degli infissi, ma anche per tutto ciò che riguarda il proporzionamento dell'ordine architettonico è la quota lineare EQ. Spesso infatti ci troviamo ad impostare dei piani di riferimento che vogliono vincolare alla stessa distanza l'uno dell'altro e pertanto è utile, nella fase di annotazione selezionare il vincolo di equidistanza delle quote. Tuttavia l'utilità di questo vincolo emerge soprattutto nel caso in cui ci troviamo a proporzionare gli elementi dell'ordine architettonico e sappiamo di dover dividere per esempio la base in tre parti uguali; in questo caso ci basterà inserire il piano di riferimento superiore ed inferiore e tra questi disegnarne un altro, indicando che le quote intermedie debbano essere equidistanti.

All'interno della famiglia finestra, una volta impostati livelli di riferimento e quote, occorre estrarre gli elementi aggettanti: in questo caso, come abbiamo già visto, si predispongono preventivamente i profili metrici e, una volta caricati

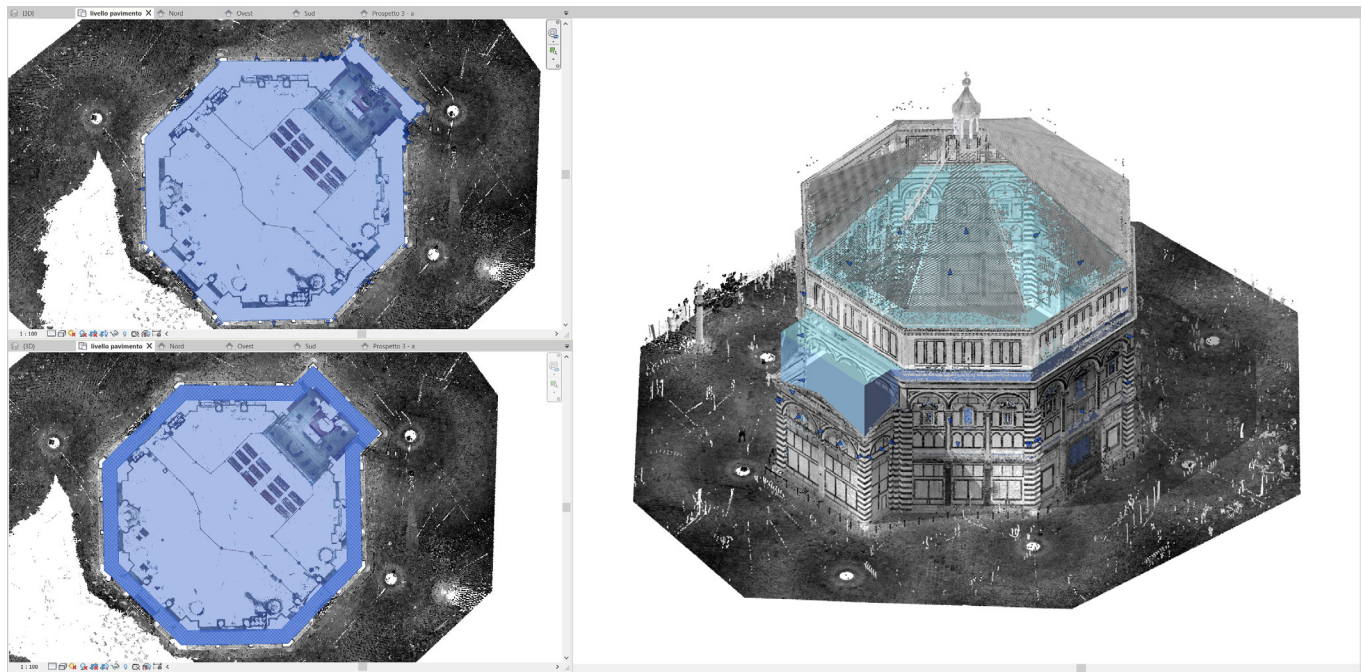
nella famiglia, si procede alla estrusione su percorso. Nella modellazione del vano finestra occorre inoltre impostare delle quote che vincolino anche la posizione del telaio e del vetro rispetto alla muratura. Infatti, soprattutto nei manufatti antichi, l'imbotte del telaio occupa solo una piccola porzione dello spessore murario, che invece è decisamente considerevole. Nella modellazione delle finestre si è ritenuto conveniente modellare all'interno della famiglia solamente l'infisso, il davanzale e l'architrave con il timpano, a meno della cornice e

delle eventuali semicolonne o paraste presenti. La scelta è dovuta in primo luogo alla comodità di modellare gli elementi dell'ordine in altre famiglie caricabili nidificate, e al semplice inserimento di queste nel progetto indicando il livello inferiore e superiore di inserimento. Anche le cornici delle finestre, per altro non tutte uguali, sono state estruse fuori dalla famiglia finestra e direttamente come famiglie locali, importando il profilo metrico e andando a selezionare nelle viste 3D del modello i bordi dei vani finestra da "incorniciare" (fig. 3.16).

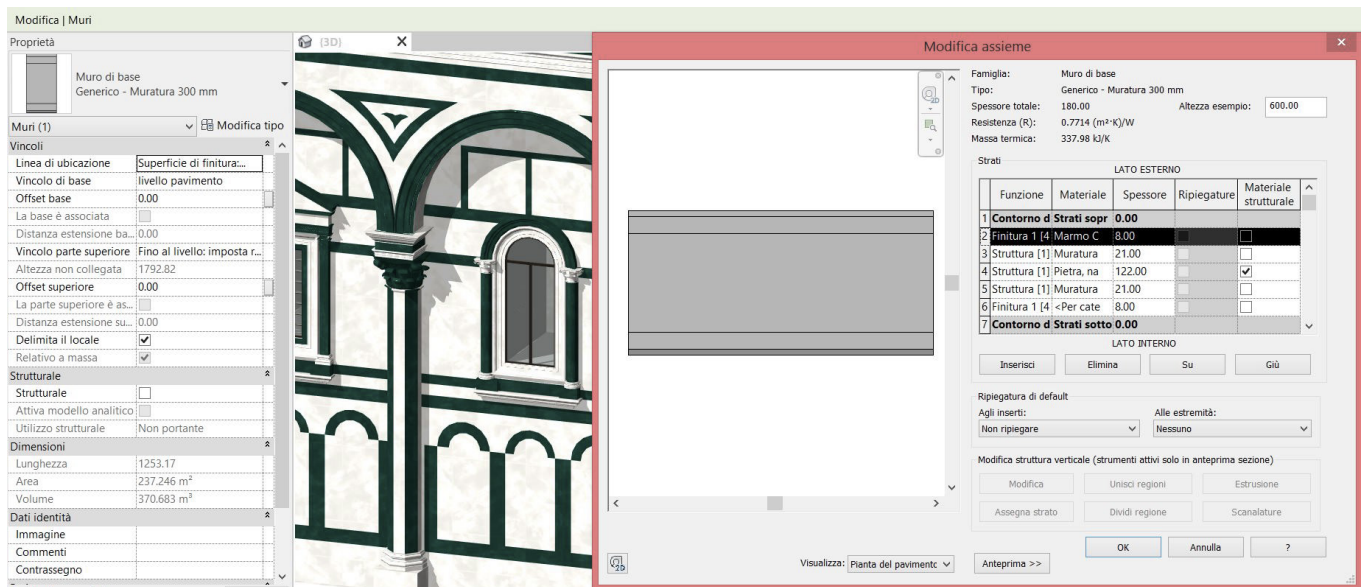


3.10/ Schema grafico del processo di ricostruzione del monumento in ambiente BIM. A partire dalla geometria, gli elementi vengono divisi in due macro categorie alle quali corrispondono due distinti metodi di modellazione, uno all'interno della piattaforma BIM, l'altro esterno attraverso l'uso di diversi software. Alle geometrie modellate vengono poi applicati gli attributi informativi, così da completare il processo ricostruttivo.

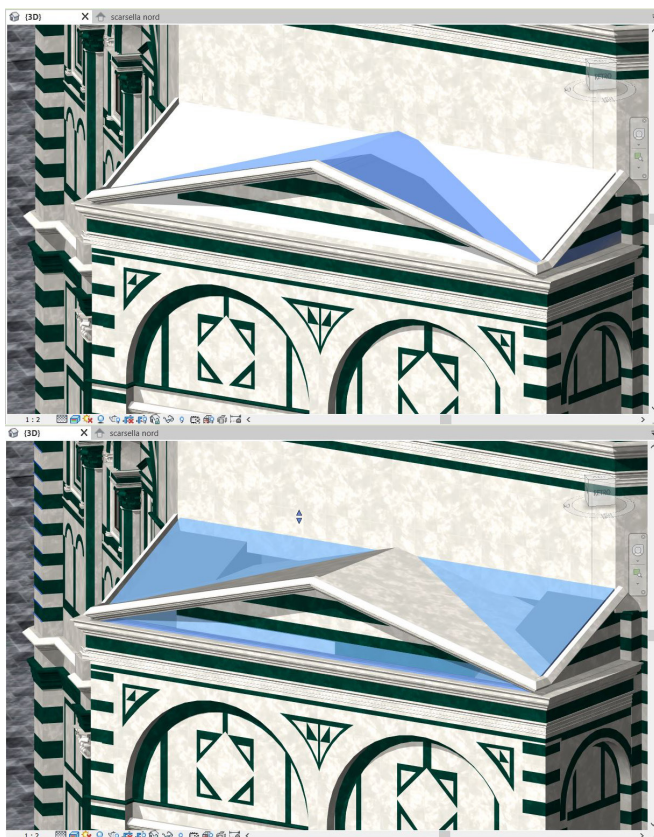
Giorgia Potestà



3.11/ Modellazione dell'involucro esterno tramite massa. A questa è possibile applicare famiglie di sistema muro e pavimento selezionando le facce ed i piani di riferimento.



3.12/ Modellazione della stratigrafia muraria attraverso le schede di proprietà dell'elemento.



3.13/ Modellazione della copertura della scarsella attraverso l'unione di due tipologie di tetto.

Ulteriori elementi che si sono modellati come famiglie caricabili sono i dati trabeati del primo e secondo registro e gli architravi aggettanti sopra le porte bronzee.

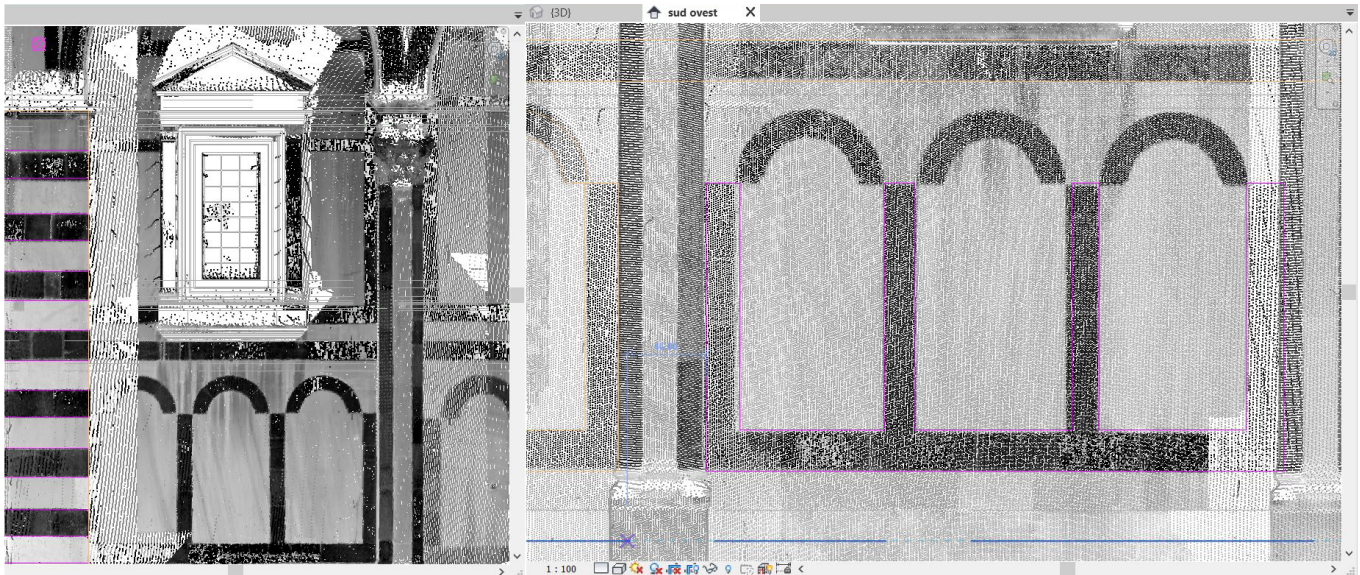
Procedura diversa si è seguita per la modellazione degli ordini architettonici. Come abbiamo visto precedentemente, le facciate del Battistero sono caratterizzate dal largo uso dell'ordine architettonico, nelle sue diverse declinazioni: dallo ionico presente in rare semicolonne adiacenti le finestre del secondo registro, al corinzio, presente soprattutto nelle paraste del primo registro, al composito che caratterizza le colonne ai lati dei portali ma anche i pilastri ottagoni del secondo registro e le colonnette della lanterna. Discussione a parte meritano le lesene scanalate dell'attico, che presentano diverse tipologie di capitelli definiti "corinzieggianti", e che hanno subito un

processo di semplificazione che descriveremo in seguito. Per la modellazione dell'ordine architettonico si è proceduto in primo luogo ad una analisi geometrica e proporzionale dell'ordine in questione e si è definito un rapporto tra diametro della colonna (o del pilastro) e altezza complessiva della stessa (fig. 3.17). È stato possibile misurare le diverse parti dell'ordine direttamente sulla nuvola di punti importata per derivarne le corrette proporzioni. La definizione di tale rapporto è il primo di una serie di parametri da impostare all'interno della famiglia di modellazione parametrica dell'ordine. Per tutti gli ordini architettonici modellati si è utilizzata la tipologia di famiglia caricabile "pilastro architettonico metrico"; la scelta della famiglia caricabile consente di modellare l'elemento sempre all'interno del software BIM, ma in un file diverso da quello del browser di progetto. La famiglia caricabile, che nel caso dell'ordine architettonico diviene nidificata in quanto ospita al suo interno una serie di altre famiglie caricabili, consente di importare l'elemento modellato all'interno del progetto Battistero, ma anche all'interno di n altri progetti, andando così ad arricchire la libreria di oggetti parametrici a nostra disposizione. Un ulteriore vantaggio, questa volta rispetto alla scelta specifica di pilastro architettonico metrico, sta nella possibilità che il pilastro architettonico ha di essere inglobato all'interno delle famiglie di sistema muro, del tutto o in parte, a differenza del pilastro strutturale metrico. Questa caratteristica si rende ottimale per la modellazione dell'ordine architettonico, spesso rappresentato come semicolonna o lesena, in parte accolta dalla superficie muraria.

Questo tipo di famiglia ha, inoltre, un'altra importante caratteristica, ovvero quella di essere vincolata per sua natura al parametro di altezza, che viene espresso sotto forma di istanza. Ciò consente di replicare l'elemento pilastro all'interno del progetto più volte, anche variando la sua altezza, che rimane un parametro legato allo specifico oggetto modellato; legando altri parametri di istanza a quest'ultimo, otterremo non solo il variare dell'altezza, ma il riproporzionamento di tutte le parti modellate in funzione di essa. Il vantaggio della modellazione parametrica risiede proprio nella possibilità che ogni oggetto, definito da diversi parametri possa essere replicato e modificato, consentendo il riadattarsi di tutti gli elementi che lo costituiscono, mantenendo gli stessi rapporti proporzionali.

Nell'esempio mostrato in fig. 3.17, si è proceduto con l'a-

Giorgia Potestà



3.14/Suddivisione delle lastre di rivestimento marmoreo delle facciate. Attraverso il tool "dividi superficie" e "dipingi superficie", è possibile modellare le lastre di rivestimento e applicare la finitura selezionandola dal browser dei materiali. La presenza della nuvola di punti garantisce il posizionamento corretto delle lastre. Questa operazione è ausiliata anche dalle immagini provenienti dalla termocamera infrarossi.

analisi proporzionale della colonna composta ai lati della porta est, detta del Paradiso. Misurato il diametro della colonna all'imoscapo, si è scelto di utilizzare come modulo il raggio della colonna e si è subito evidenziato come l'altezza della stessa fosse pari a 20 moduli (10 diametri) come definito dalla *Regola* del Vignola (*Regola*, tav. XXI e XXVIII). È stato dunque suddiviso il modulo in 18 parti, come per la *Regola*, ed è stato così possibile trovare riscontro nel proporzionamento anche delle parti più piccole, come il collarino e l'altezza dell'abaco. A questo punto l'analisi proporzionale è stata tradotta nell'impostazione dei parametri nella modellazione della colonna composta. In primis si è definito il parametro di "colonna_raggio" uguale ad 1/20 dell'altezza della colonna; poi si è stabilito che l'altezza della base fosse pari alla colonna_raggio, il nostro modulo; in seguito si è definito il parametro "parte", come 1/18 di colonna_raggio. Quest'ultimo parametro ha consentito la modellazione anche delle decorazioni a foglie d'acanto e degli elementi più piccoli, come collarino e abaco; l'altezza del solo fusto è pari alla formula $16 \times \text{colonna_raggio} + 12 \times \text{parte}$, ovvero 16 moduli e 2/3.

Tutti i parametri inseriti a formare le formule generatrici della modellazione sono parametri di istanza, in quanto legati da un rapporto stretto con il parametro di istanza "altezza" del pilastro metrico.

Stesso discorso è stato fatto per tutte le colonne, paraste e pilastri presenti sulle facciate del monumento, andando ad individuare i rapporti tra le parti per definire i parametri della costruzione (figg. 3.18 e 3.19).

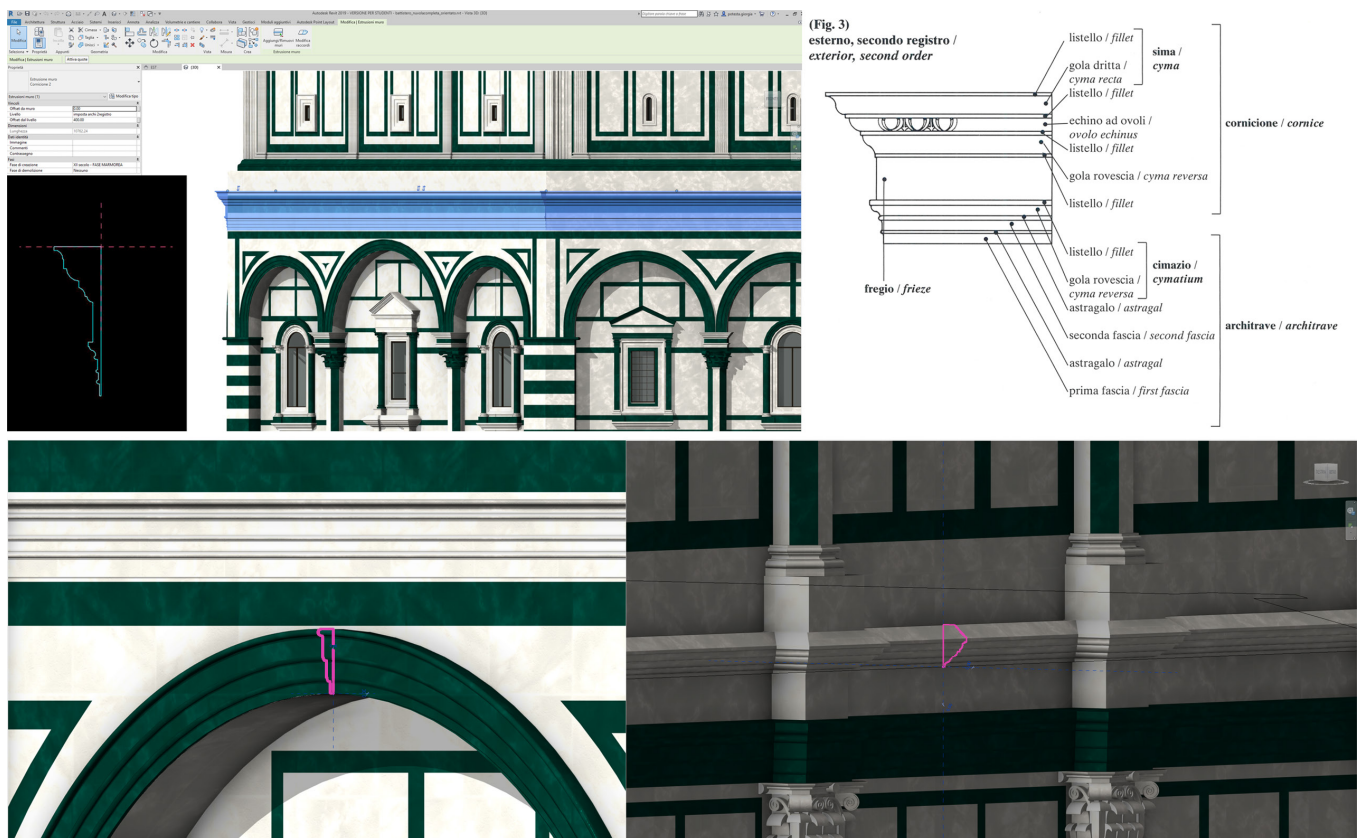
Come per il progetto, anche per le famiglie caricabili è importante definire i piani di riferimento, ma soprattutto le annotazioni di quota tra questi, poiché consentono di legare le distanze ai parametri inseriti, ed inoltre fungono da riferimento per alloggiare altre famiglie caricabili come ad esempio i modelli generici metrici.

Le famiglie caricabili "modello generico metrico" consentono la modellazione di oggetti metrici caricabili sia all'interno del progetto che all'interno di altre famiglie caricabili. Nello specifico, sono stati utilizzati per la modellazione parametrica delle volute, sia ioniche che composite, ma anche per altri elementi decorativi dei capitelli. La base attica invece, per

tutte le tipologie di colonna o pilastro è stata modellata prima come famiglia di profilo metrico e poi estrusa all'interno della famiglia caricabile di riferimento. Tanto nelle famiglie di profilo metrico, quanto nei modelli generici metrici che si vogliono caricare all'interno di famiglie, occorre modellare con i parametri di tipo, in quanto, in fase di importazione nella famiglia, occorre legarli e vincolarli ad altri parametri di istanza già presenti. Particolare attenzione andrà posta all'uniformare le unità di misura impiegate, tanto nel progetto quanto nelle famiglie caricabili, poiché queste ultime vengono di *default* modellate in mm. Nella modellazione del profilo metrico della base attica, il parametro di tipo che è stato agganciato alla famiglia colonna è l'altezza della base, che

nella famiglia caricabile è un parametro di istanza legato al raggio della colonna (fig. 3.20). Allo stesso modo, nel modello generico della voluta, il parametro dell'altezza della voluta viene legato allo stesso parametro di istanza nella famiglia caricabile. Quando si modella un elemento metrico è sempre opportuno specificare che questo sia basato su piano di lavoro, in quanto facilita l'inserimento nella famiglia caricabile dell'oggetto al relativo piano di riferimento.

Procedura analoga è stata utilizzata per la modellazione dell'abaco dei capitelli compositi, corinzi e ionici, con l'unica eccezione del profilo da estrudere, che è stato modellato direttamente all'interno della specifica famiglia utilizzando il comando di estrusione o di rivoluzione. In questo caso non si

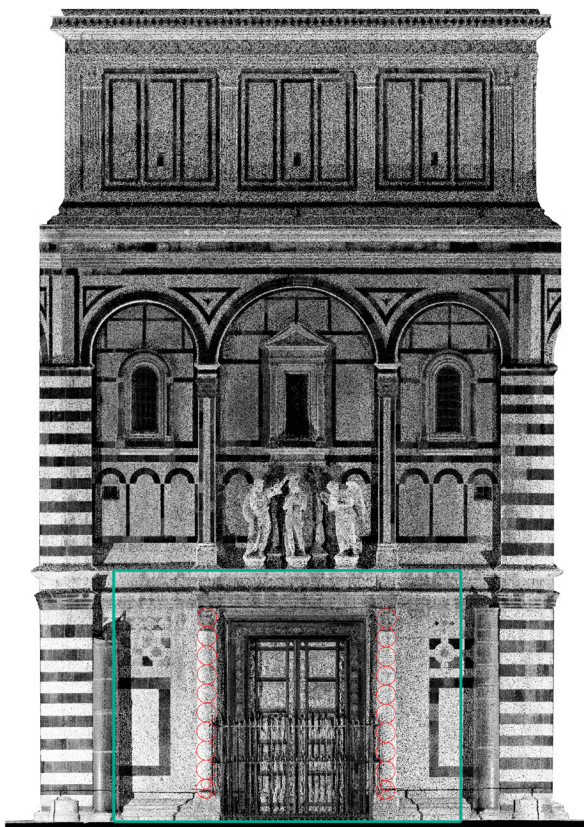


3.15/Le modanature. Modellazione locale in place tramite estrusione di una famiglia profilo generico metrico. Il profilo è stato rilucidato in cad dalla nuvola di punti, importato in Revit per generare la famiglia profilo e successivamente estruso nel progetto. In alto: estrusione della trabeazione del secondo registro; è possibile un confronto con il profilo della stessa pubblicato in Paolucci, 1994. In basso: estrusione delle cornici delle arcate del secondo registro e della cornice del primo registro.

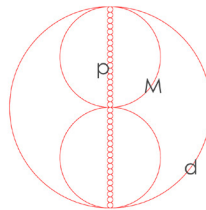
Giorgia Potestà



3.16/Modellazione delle finestre architravate con timpano tondo e triangolare. Impostazione dei parametri in pianta e alzato all'interno della famiglia caricabile; estrusione delle cornici in place ed inserimento nel browser di progetto delle semicolonne e paraste come famiglie caricabili nidificate. Nel centro: mappatura delle tipologie di finestra modellate realizzata sull'ortofoto del modello stesso.



PROPORZIONAMENTO DELLA COLONNA COMPOSITA



M (Modulo) = Raggio della colonna
 d = Diametro della colonna all'imoscapo
 p (Parte) = 1/18 del Modulo

Colonna_altezza = 20 M
 Base_altezza = 1 M
 Fusto_altezza = 16M + 12p
 Capitello_altezza = 2M + 6p

3.17/Proporzionamento delle colonne composite ai lati della porta est. Si è trovata corrispondenza nella divisione del diametro in 2 moduli che a loro volta sono stati distinti in 18 parti. Sulla base di questo proporzionamento sono stati impostati i parametri per la modellazione dell'ordine.

disporrà di una famiglia profilo metrico da utilizzare in futuro, poiché l'oggetto estruso apparterrà esclusivamente e quella famiglia. Stesso discorso per la modellazione delle parti decorative del capitello come le foglie d'acanto, che sono state modellate direttamente all'interno della famiglia specifica come estrusione, in quanto legate alla singola configurazione. Per ciò che concerne la modellazione del fusto delle colonne e semicolonne, si è rintracciata la presenza dell'entasi esclusivamente nelle colonne ai lati dei portali architravati; per tutte le altre colonnette ai lati delle finestre e in facciata, non si è riscontrata rastremazione, in quanto i fusti si presentano di esigue dimensioni e posizionati in alto. Per la modellazione di queste si è potuta utilizzare una semplice estrusione cilin-

drica.

3.2.2.B.1 La rastremazione del fusto o entasi.

entasi s. f. [dal lat. entāsis, gr. ἐντασις «tensione», der. del tema di ἐντείνω «tendere»]. – In architettura, ingrossamento apparente del fusto della colonna determinato da un restringimento (rastremazione) del suo diametro dal basso verso l'alto, solitamente a partire dal terzo dell'altezza (o dalla metà, nell'ordine ionico, o addirittura dalla base, nell'ordine dorico), mentre al di sotto la colonna rimane cilindrica, e solo in esempi barocchi presenta una rastremazione anche verso la base¹⁰.

Il fusto della colonna nell'ordine architettonico, subisce ge-

Giorgia Potestà

neralmente una rastremazione, ovvero un restringimento graduale a partire da circa 1/3 dell'altezza, fino a misurare al sommoscapo 5/6 del diametro; questa rastremazione in greco viene definita *éntasis*. È un accorgimento ottico che mette in evidenza la robustezza della membratura rappresentando lo stato di tensione della colonna che reagisce alla compressione a cui è sottoposta. Molti trattatisti rinascimentali descrivono il procedimento geometrico per la rappresentazione geometrica dell'éntasi, da quello più intuitivo del Palladio, che affonda le sue radici nella pratica di cantiere (Migliari, 1991), a quello geometrico di Vignola e Chitham. Per la modellazione parametrica della rastremazione delle colonne composite del portale è stato applicato il metodo di Palladio, piuttosto pratico e che ben si adatta alla logica parametrica.

“Partisco il fusto della colonna in tre parti eguali, e lascio la terza parte da basso dritta a piombo, a canto l'estremità della quale pongo in taglio una riga sottile alquanto lunga come la colonna o poco più, e muovo quella parte che avanza dal terzo in suso e la storco finché 'l capo suo giunga al punto della diminuzione di sopra della colonna sotto il collarino; e secondo quella curvatura segno, e così mi viene la colonna alquanto gonfia nel mezo, e si rastrema molto garbatamente”.

Allo stesso modo si è suddiviso il fusto della colonna in tre parti uguali con l'ausilio dei piani di riferimento e delle solite annotazioni e si è generata una estrusione per rivoluzione del fusto. In questo caso il software ci chiede di determinare le linee di contorno, ovvero il profilo che deve essere estruso, e la linea d'asse, ovvero l'asse di rivoluzione. Conoscendo il diametro della colonna all'imoscapo e al sommo scapo, viene definita una linea di contorno ancorata ai piani di riferimento inferiore e superiore del fusto, e una linea retta per il primo terzo del profilo della colonna; a questo viene poi vincolato un arco tangente che consente di rappresentare la rastremazione. Il profilo così formato viene estruso per rivoluzione lungo asse di simmetria della colonna. Avendo vincolato i piani inferiore e superiore del fusto, relazionati ai parametri del raggio della colonna in quel punto, modificando l'altezza della colonna l'éntasi si adatta perfettamente (fig.3.21). Questa operazione consente di modellare l'éntasi del fusto della colonna attraverso un'operazione di *fitting* perfetto con la nu-

vola di punti.

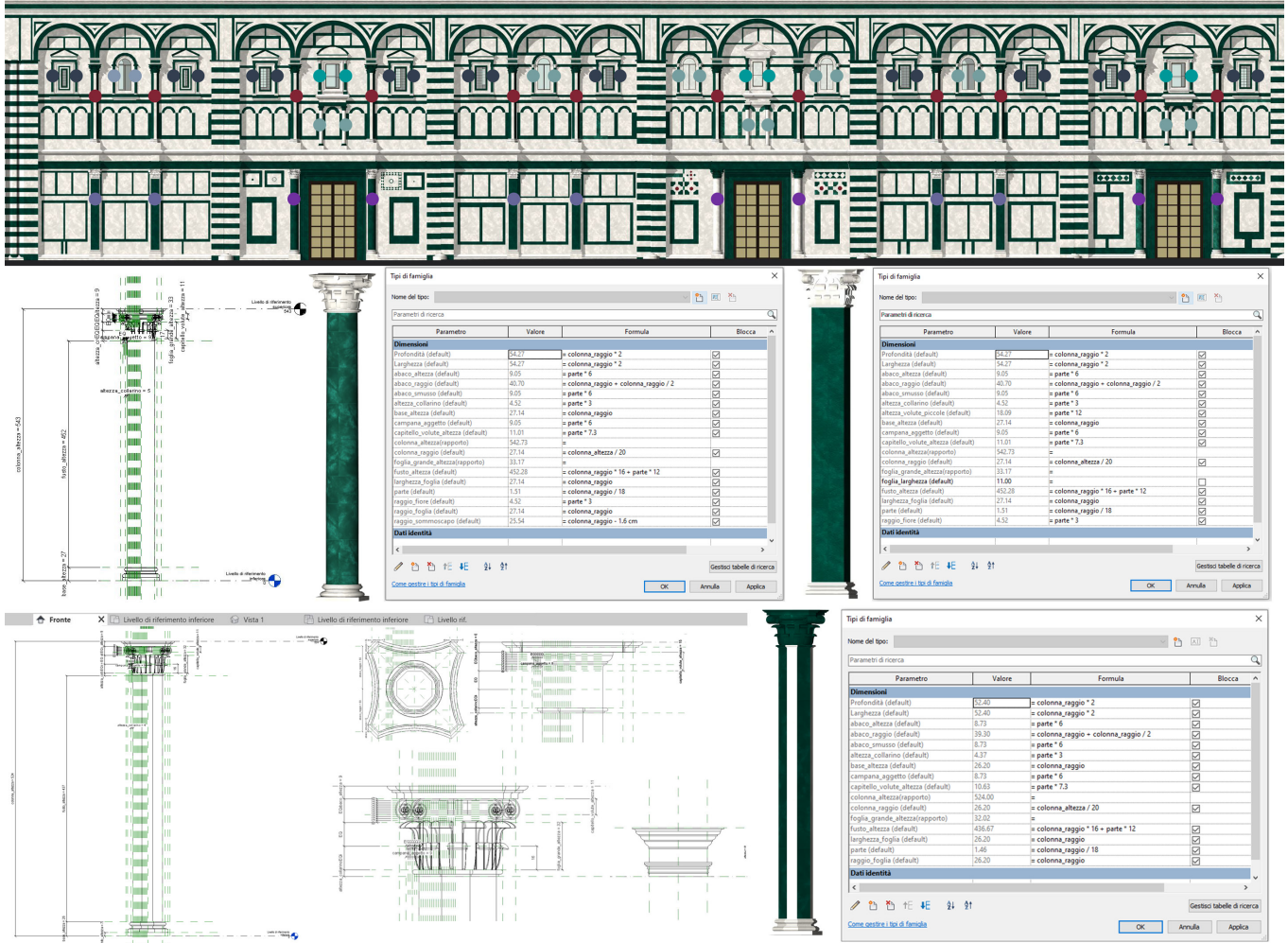
Un'ulteriore procedura può essere quella di seguire la costruzione geometrica proposta da Vignola e Chitham.

Nello specifico, il metodo prevede che l'altezza della colonna, fissato il diametro, sia divisa in tre parti uguali, e che l'éntasi riguardi i 2/3 di questa, mentre il primo terzo rimanga cilindrico. All'altezza del primo terzo del fusto si descrive una semicirconferenza; si dividono poi i 2/3 superiori del fusto in un numero scelto di parti uguali, si stabilisce il diametro al sommoscapo e si proiettano assi paralleli dagli estremi del diametro fino ad incontrare la semicirconferenza alla base dell'éntasi. Si stacca pertanto sulla semicirconferenza un arco, che verrà diviso per lo stesso numero di parti uguali con cui si sono suddivisi i 2/3 del fusto. Da queste parti si prolungano rette parallele all'asse che, all'incontro con le corrispondenti perpendicolari individuano i punti per i quali passa la curva di rastremazione (fig. 3.22). Si noti che, nonostante Vignola ed altri proponessero una costruzione della rastremazione differente per le colonne corinzie o composite, in questo caso si è riscontrata, nelle colonne del Battistero, la rastremazione adottata per le colonne toscane o composite, che prevede la rastremazione solo verso il sommoscapo. A questo punto si presentano due strade per realizzare la rastremazione dei 2/3 del fusto: in un primo caso è possibile unire i punti per cui passa la curva con una spline, oppure assimilare la curva descritta ad un arco ellittico che è possibile modellare all'interno della piattaforma BIM¹¹. Nel primo caso occorre sapere che utilizzando la spline, i punti di controllo consentono di approssimare bene una curva passante per i sei punti; inoltre lasciando gli estremi della curva liberi da vincoli, essa si adatta perfettamente alle modifiche in altezza della colonna. Nel secondo caso occorre invece fare riferimento alla costruzione matematica e geometrica dell'ellisse: per costruire un'ellisse nel piano cartesiano abbiamo bisogno di riferirci all'equazione canonica, ovvero $x^2/b^2 + y^2/a^2 = 1$.

Nel nostro caso, abbiamo tre dei valori richiesti per risolvere la formula: la somma delle sei parti uguali sono l'altezza dell'éntasi che nella formula standard rappresenta y ; il raggio della colonna all'imoscapo equivale all'asse minore dell'ellisse b ; il raggio della colonna al sommoscapo equivale alla x . Pertanto, la nostra equazione diventa $a = \sqrt{y^2 / (1 - x^2 / b^2)}$, in cui a è il semi asse maggiore dell'ellisse.

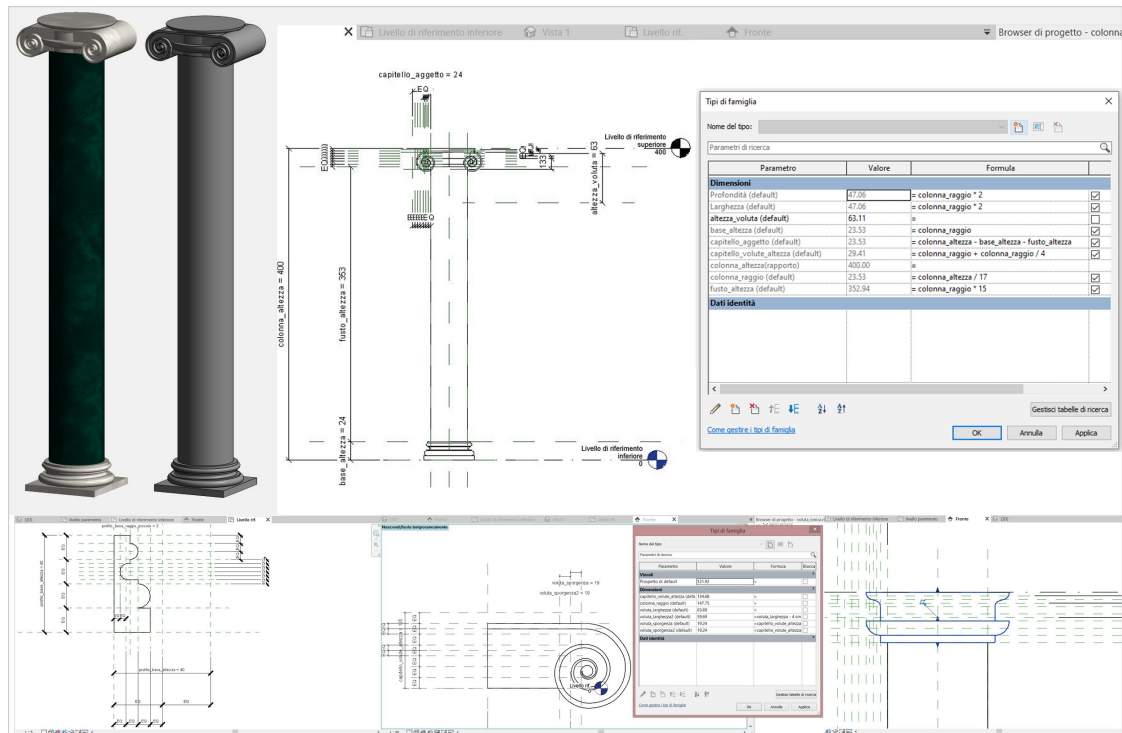
Codificando questa formula in un linguaggio comprensibile

- parasta corinzieggiante
- semicolonna ionica
- semicolonna composta finestra
- semicolonna composta sottodavanzale
- parasta corinzia
- semicolonna composta del portale
- colonna pilastro ottagonale

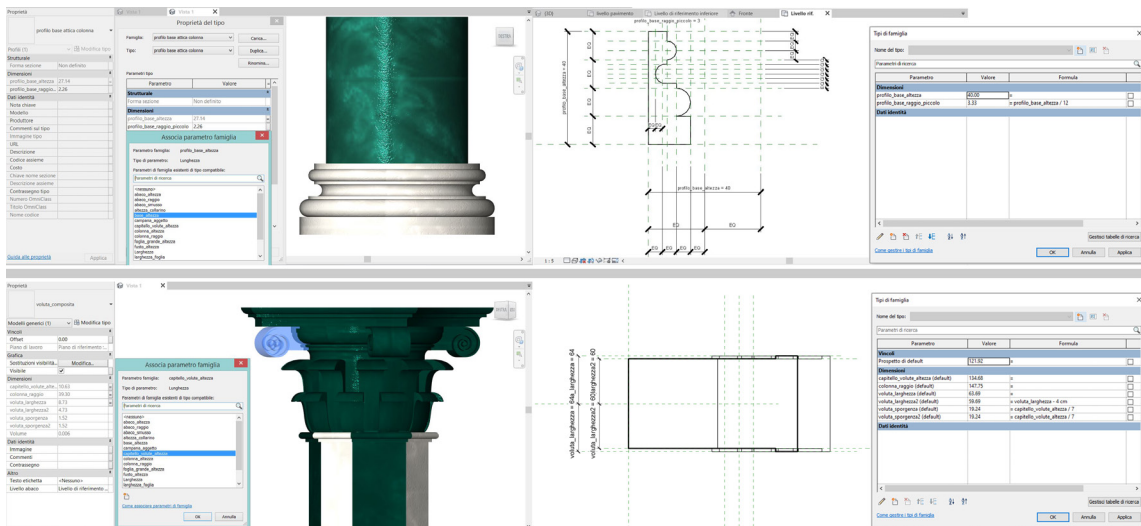


3.18/Modellazione degli elementi di sostegno verticali. In alto: mappatura su ortofoto del modello delle diverse tipologie di sostegni. Sotto: modellazione e impostazione dei parametri della colonna composta del portale, della parasta corinzia del primo registro e della colonna pilastro ottagonale del secondo registro con capitello composto. L'impostazione dei parametri istanza dei sostegni deriva sempre dal preventivo proporzionamento degli elementi modulari.

Giorgia Potestà



3.19/Modellazione della semicolonna ionica ai lati delle finestre ad arco. La famiglia nidificata ospita la famiglia profilo metrico base attica ed il modello generico metrico voluta.



3.20/ Modellazione della base attica e della voluta e successiva associazione dei loro parametri a quelli presenti nella famiglia colonna e pilastro. L'associazione dei parametri consente la modifica dimensionale della colonna garantendo l'adattamento anche di questi elementi.

al software¹², imponiamo che il parametro semi asse maggiore debba seguire la formula:

$\sqrt{\text{entasi}^2 / (1 - (\text{raggio_sommoscapo}^2) / (\text{colonna_raggio}^2))}$ ¹³.

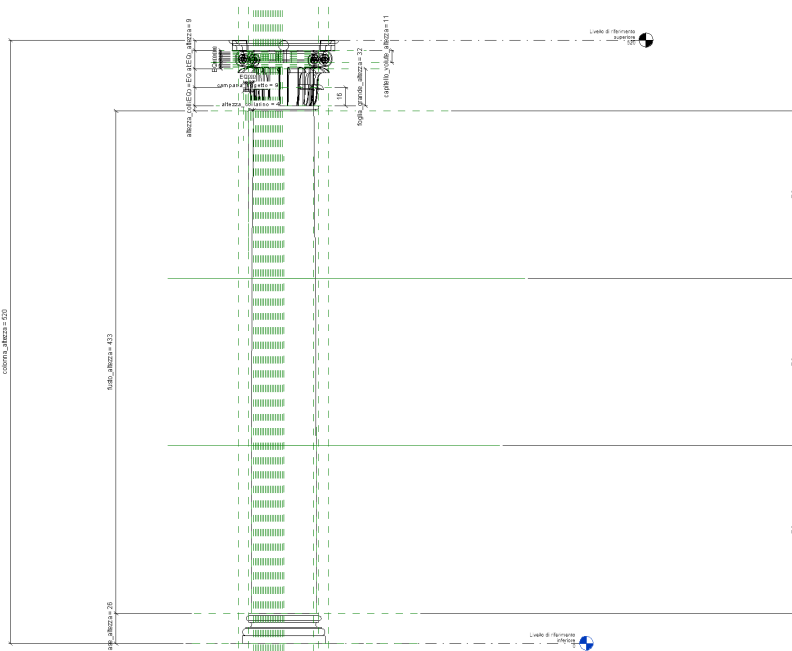
È possibile quindi estrarre il profilo di arco ellittico per i 2/3 del fusto e un cilindro per il primo terzo. In questo modo l'entasi della colonna diviene parametrica a tutti gli effetti poiché legata a parametri di istanza già espressi nella famiglia (fig.3.23).

3.2.2.C Elementi decorativi: modellazione esterna.

Gli elementi decorativi, come statue, bassorilievi e arredi fissi, rappresentano tutti quegli oggetti non replicabili che costituiscono un unicum all'interno del manufatto architettonico, e che devono necessariamente seguire una modellazione esterna al software per poter descrivere al meglio le loro caratteristiche. La modellazione esterna prevede una fase di realizzazione del modello mesh dell'oggetto sulla base della

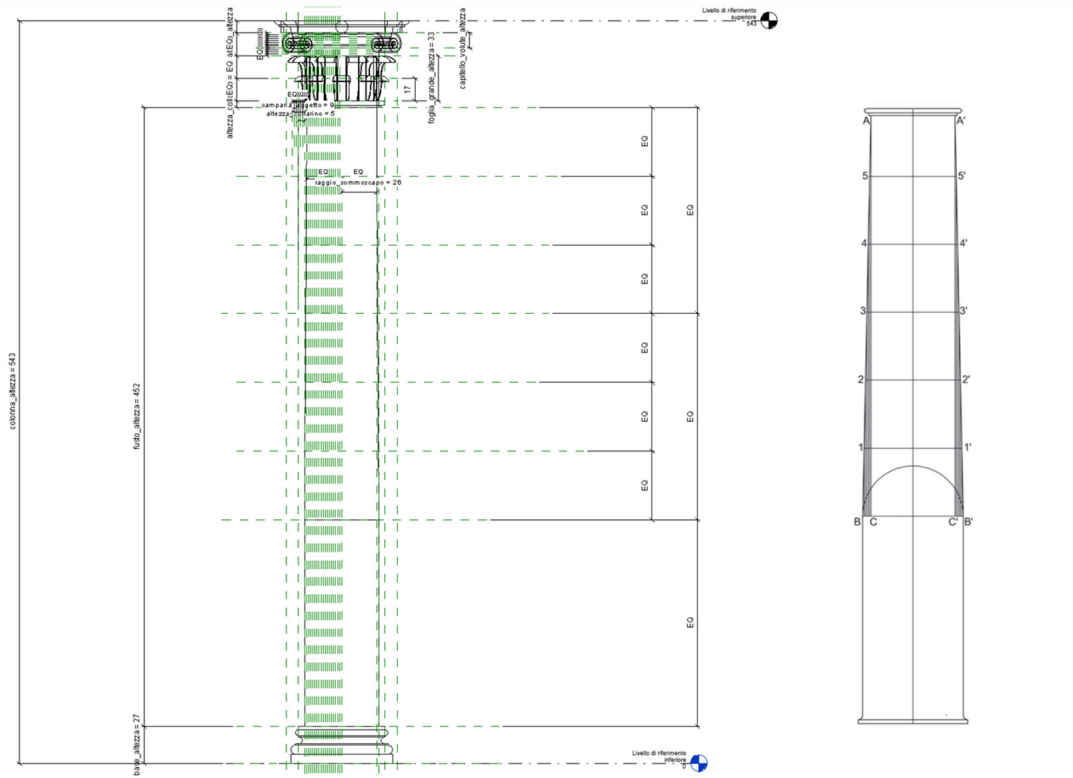
nuvola di punti, e successivamente l'importazione del modello all'interno di una famiglia caricabile di Revit. Questi passaggi implicano necessariamente l'utilizzo di diversi software per consentire la trasformazione dei dati e la possibilità di importarli nella piattaforma BIM; ovviamente seguendo questo tipo di modellazione, una volta importati nella famiglia, gli oggetti non saranno modificabili in quanto modellati secondo logiche differenti dalla modellazione parametrica.

L'operazione in questione è stata applicata alla modellazione del gruppo scultoreo posizionato sopra la porta est del Battistero. Sappiamo che esistono tre diversi gruppi scultorei, ognuno posizionato sopra una porta bronzea, realizzati nel Cinquecento, i cui originali sono conservati all'interno del Museo dell'Opera del Duomo. Durante la fase di acquisizione dei dati con laser scanner, risalente al 2013, solo la copia del gruppo scultoreo del Battesimo di Cristo si trovava nella sua collocazione originaria, mentre gli altri due ancora nel Museo per la realizzazione dei calchi. Il gruppo scultoreo esa-

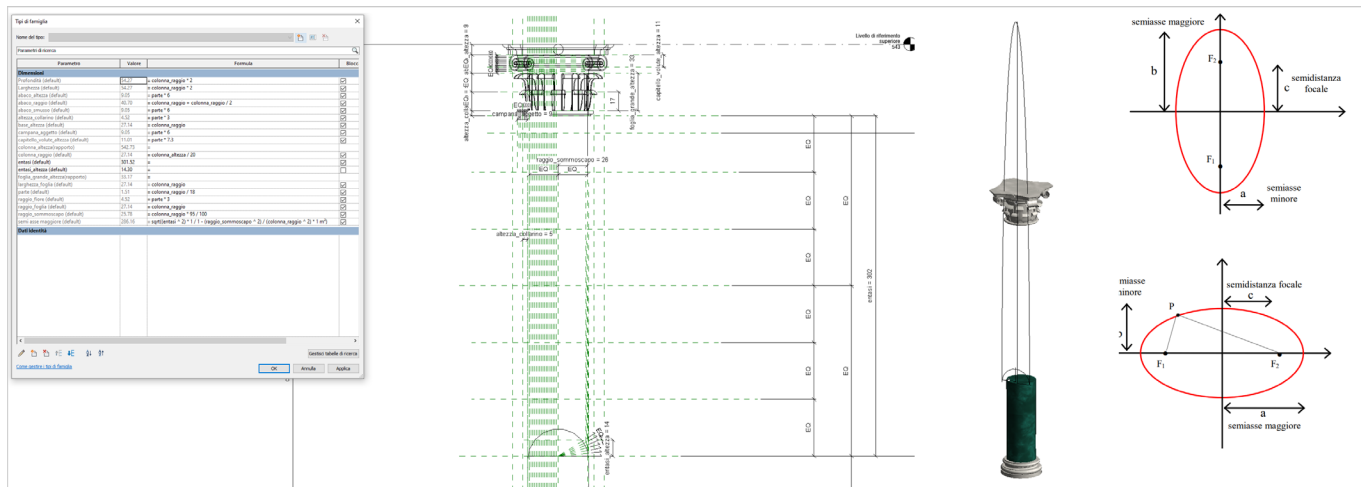


3.21/ Modellazione dell'entasi della colonna secondo il procedimento illustrato da Palladio. A sinistra: illustrazione grafica del procedimento disegnata da Riccardo Migliari e tratta da Migliari, R., 1991, p. 56.

Giorgia Potestà



3.22/ Modellazione dell'entasi della colonna secondo il procedimento illustrato da Vignola e Chitham.



3.23/ Modellazione dell'entasi della colonna secondo il procedimento dell'arco ellittico parametrico..

minato consiste in tre distinte statue raffiguranti Cristo, San Giovanni Battista ed un angelo ed il processo metodologico è stato applicato a quest'ultima statua.

La scultura è stata isolata all'interno della nuvola di punti in Recap ed esportata in formato .e57 per la sua successiva importazione in Cloud Compare. A questo punto si hanno due possibilità: far eseguire a Cloud Compare la generazione della superficie mesh dopo aver calcolato le normali, oppure utilizzare Meshlab, software più performante per la realizzazione della superficie mesh da nuvola di punti, ed utilizzare Cloud Compare solo per esportare dalla nuvola in un formato compatibile con Meshlab. Si è scelta questa seconda soluzione, quindi la nuvola di punti in Cloud Compare è stata esportata in formato .ply.

Primo passo dopo l'importazione della nuvola in Meshlab è il calcolo delle normali dei punti *Normal curvatures orientation from point sets*. In questa fase il software considera dieci punti nell'intorno di ogni singolo punto appartenente alla nuvola, calcola un piano, e genera un vettore normale al piano; ogni vettore possiede coordinate nx , ny , nz ¹⁴. A questo punto dobbiamo scegliere l'algoritmo per la generazione della superficie mesh, che nello specifico è l'algoritmo di Poisson, impostando i relativi parametri di definizione. Successivamente la mesh è stata importata in Geomagic per le operazioni di *editing* e la chiusura della mesh con un piano per quanto riguarda il retro della statua di cui non si dispone di dati rilevati in quanto semi addossata a parete.

La mesh così ottenuta può essere esportata in uno dei formati che Revit legge per l'importazione di oggetti 3D nelle famiglie caricabili, ovvero 3DM, DGN, DWG, DXF, SAT ed SKP (fig. 3.24). Tuttavia l'operazione di esportazione in uno di questi formati ha reso necessario il passaggio all'interno di un altro software, ovvero Rhinoceros. Un percorso decisamente molto articolato e che prevede l'utilizzo di diversi software, il tutto per generare un oggetto che è la copia "muta" della realtà e che non interagisce con il modello parametrico. Ci si chiede a questo punto se non sia più utile lasciare direttamente la nuvola di punti a descrivere questi oggetti decorativi, senza crearne forzatamente dei calchi che non forniscono alcuna informazione in più se non il loro posizionamento. A ciò si aggiunge comunque la difficoltà di creare una mesh che non è perfettamente in grado di descrivere la scultura dell'angelo in maniera dettagliata, in quanto le scansioni laser erano

posizionate a diversi metri di distanza dall'oggetto (circa 15 più in basso); il procedimento più corretto sarebbe stato quello di rilevare per SfM la scultura conservata all'interno del Museo dell'Opera del Duomo e ripetere l'articolato processo di conversione. Tuttavia anche in questo caso le sculture sono conservate correttamente nel museo all'altezza di visione reale e pertanto occorrerebbe chiedere diversi permessi per riuscire a rilevarle correttamente a 360°.

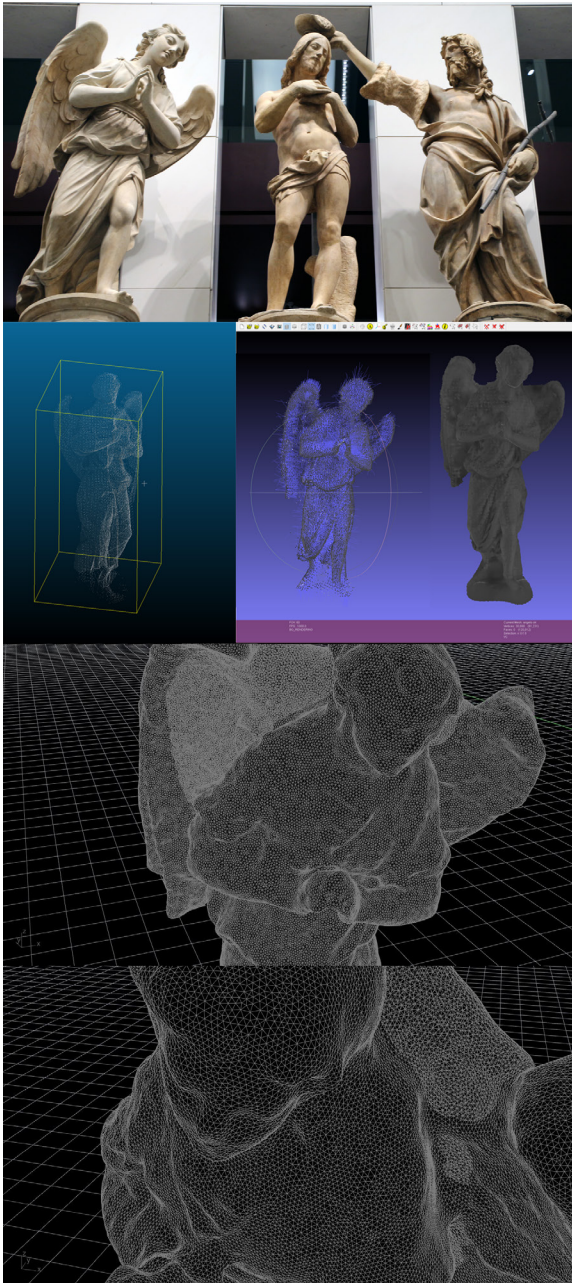
3.2.3 La modellazione parametrica e i Trattati: analogia interpretativa sulla rappresentazione dell'architettura.

Benché la modellazione BIM fin qui indagata faccia riferimento ad un caso studio di origine Medievale, non si può fare a meno di leggere una certa analogia tra la modellazione parametrica ed i trattati di architettura, da Vitruvio al diciottesimo secolo. Come finora descritto, nonostante il manufatto esaminato sia di età Romanica, nel proporzionamento del suo ordine architettonico si è utilizzato il metodo delle partizioni successive applicato direttamente alla nuvola di punti, tuttavia integrandolo per alcuni aspetti con il metodo esposto dal Vignola.

«Piuttosto è bene precisare cosa si intende qui per «disegno» dell'ordine classico. (...) ma s'intenda anche l'interpretazione di questa regola, cioè la lettura della dipendenza di ogni parte rispetto all'altra e la misura dei rapporti dimensionali tra le varie parti; s'intende infine l'abbozzo di una regola generale che non è una regola, ma piuttosto una trama sulla quale imbastire il disegno, inteso come si è detto». (...) L'idea di un disegno dell'ordine nel quale siano le operazioni mentali e grafiche, il loro procedere e le loro interdipendenze, a definire il risultato a me sembra seducente, anche perché permette di superare, definitivamente, «l'imbarazzo della regola»: quale, infatti, la regola e quale il trattatista da considerare, per affrontare lo studio dell'ordine, dal momento che tutte le regole sono diverse?» (Migliari 1991).

In effetti il Building Information Modeling è una metodologia, o meglio un processo di progettazione e documentazione degli edifici, caratterizzato dall'uso di informazioni internamente coordinate e computazionali riguardo il progetto dell'edificio e la sua costruzione. Da queste caratteristiche è possibile rilevare che la composizione degli edifici appartenenti al patrimonio storico monumentale e la modellazione parametrica BIM sono strettamente connessi, e pertanto il

Giorgia Potestà



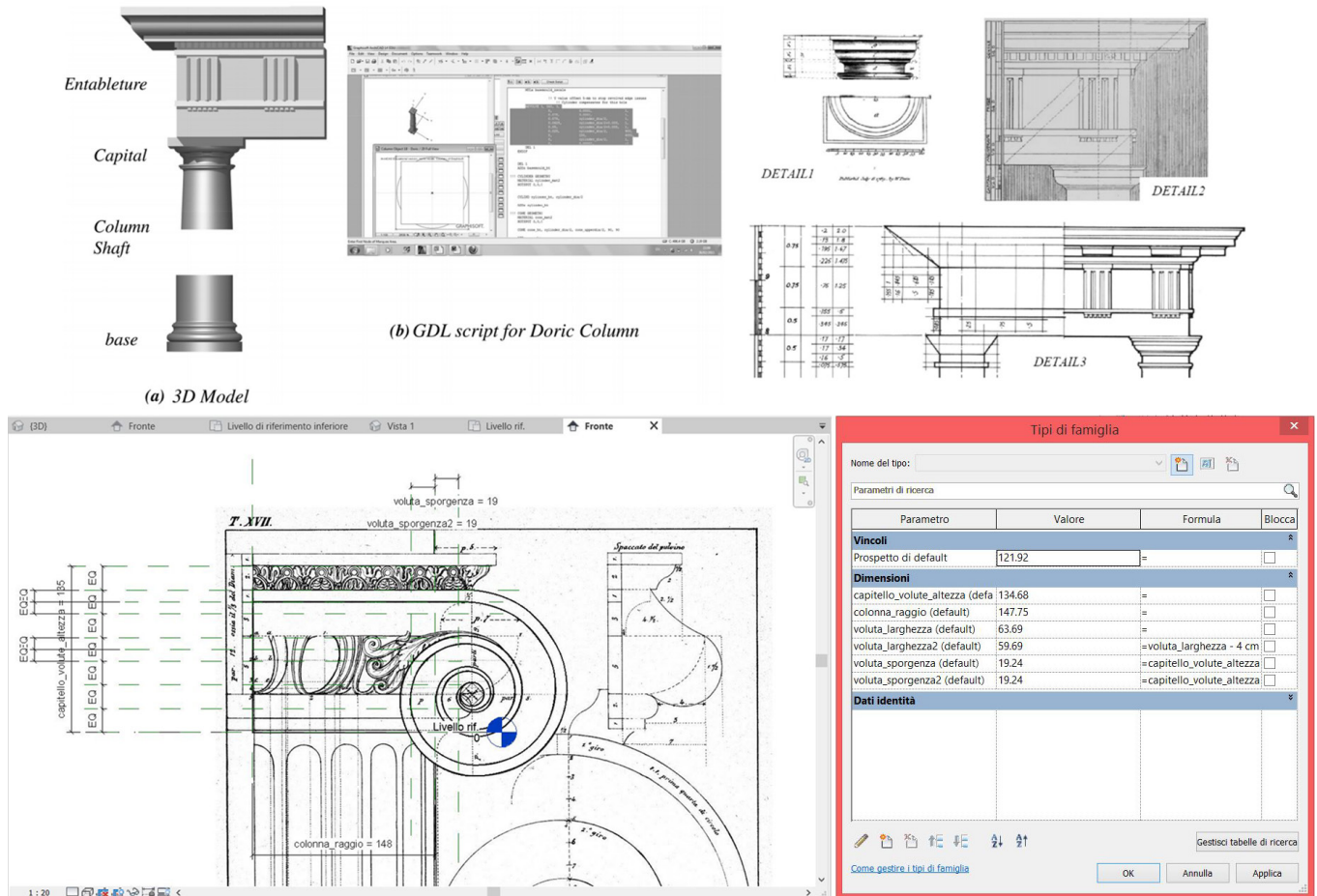
3.24/ Realizzazione della mesh della statua dell'angelo. La nuvola di punti viene esportata da Cloud Compare e importata in Meshlab dove viene creata una prima mesh che viene poi affinata in Geomagic. Gruppo scultoreo del Battesimo di Cristo di Andrea Sansovino (1502 - 1505). Angelo aggiunto nel 1792 da Innocenzo Spinazzi.

BIM ha le potenzialità per essere una eccellente metodologia operativa per la costruzione di un sistema architettonico basato sulla conoscenza (Apollonio et al, 2013).

Le piattaforme BIM non sono soltanto degli ottimi strumenti di modellazione della geometria, ma consentono l'attribuzione di una serie di informazioni sui materiali, le tecniche, i periodi di realizzazione, tanto da poterle considerare un database generale per la comprensione e la documentazione del ciclo di vita dell'edificio. Da questo punto di vista il BIM è anche un prezioso strumento per facilitare gli studi teorici e storici sul manufatto, al fine di arricchirne la conoscenza. La geometria parametrica inoltre garantisce un elevato grado di flessibilità dei componenti e consente l'adattamento automatico degli elementi alle modifiche. Questa caratteristica è di fatto molto vicina al sistema della struttura semantica dell'architettura classica e delle sue proporzioni.

L'analogia tra la modellazione parametrica e la trattatistica rinascimentale sulla rappresentazione dell'architettura si fa ancor più concreta se entrambe vengono a considerarsi come sistemi di conoscenza. In effetti, nella fase di modellazione soprattutto del costruito storico, l'operatore si pone gli stessi quesiti rappresentativi del trattatista rinascimentale, ovvero dover legare gli elementi tra loro cercando di individuarne rapporti proporzionali e logiche di ripetizione. Inoltre, la grande flessibilità che si riscontra nell'utilizzo di elementi architettonici canonici ripetuti ma con gradi di libertà per quanto riguarda i tipi, sembra essere perfettamente aderente alla modellazione per tipi delle famiglie parametriche.

Nello stesso concetto di "parametrico", inoltre, si individuano affinità con la modularità dell'architettura storica; il termine parametrico fa riferimento alle relazioni esistenti tra tutti gli elementi del modello, che consentono il coordinamento e la gestione delle modifiche. In matematica e nei sistemi CAD di progettazione meccanica, i numeri o le caratteristiche che definiscono questo tipo di relazioni vengono definiti parametri, da cui l'uso di "parametrico" in riferimento all'operazione eseguita dal software. Nel concetto di ordine architettonico, è connotato fin dall'antichità quello di serie, successione, ripetizione, nel senso di insieme, di strumenti atti a leggere un organismo architettonico come sistema numerico e armonico, riproponibile continuamente attraverso un modulo. Nel Libro III del *De Architectura*¹⁵, Vitruvio si sofferma sulla necessità che la composizione del tempio sia basata su schemi propor-



3.25/ La modellazione parametrica dell'ordine architettonico sulla base della trattatistica rinascimentale. In alto: modellazione GDL in Grasshopper dell'ordine dorico. In basso: modellazione parametrica della voluta ionica sulla Regola del Vignola in Revit.

zionali, cioè sulla commensurabilità di ogni singolo membro dell'opera e di tutti i membri nell'insieme dell'opera, per mezzo di una determinata unità di misura o *commodulatio*; questa per Vitruvio corrisponde al diametro della colonna misurato all'imoscapo. Ecco allora che il termine parametro e modulo, all'interno della modellazione trovano senso univoco nel definire gli oggetti della rappresentazione; le librerie di oggetti parametrici che si modellano per un manufatto storico in ambiente BIM si configurano dunque come le tavole dei Trattati in cui gli architetti e artisti dell'epoca rappresentavano le costruzioni geometriche degli elementi per poterli ripro-

porre in cantiere (fig. 3.25).

3.2.4 Applicazione degli attributi informativi LOI.

3.2.4.A Database dei materiali.

Al termine della modellazione geometrica, ad ogni elemento è stato applicato un materiale, strutturale o di finitura differente. Dall'osservazione diretta del manufatto architettonico, dalle analisi diagnostiche e dalle informazioni rintracciate in bibliografia si sono definiti i principali tipi di materiali utilizzati nel monumento, distinguendo quelli strutturali per la mu-

Giorgia Potestà

ratura già descritti in precedenza¹⁶, da quelli degli elementi architettonici e di rivestimento delle facciate. L'applicazione del materiale agli elementi architettonici modellati in place avviene inserendo l'informazione direttamente nella fase di modellazione, all'interno della tabella di proprietà dello specifico elemento, scegliendo dal database di materiali creati per il progetto; nella modellazione delle famiglie caricabili invece, occorre definire nuovamente i singoli materiali di cui l'oggetto in questione è composto.

Nel caso invece del rivestimento marmoreo delle facciate del Battistero, occorre in primo luogo suddividere la superficie del rivestimento murario in lastre, e successivamente procedere con l'applicazione del materiale specifico. Durante questa operazione è utile visualizzare la porzione della nuvola di punti che individua l'esterno dell'edificio, e procedere alla divisione della superficie del muro modellato, rilucidando le lastre di rivestimento direttamente sulla nuvola di punti visualizzata, per avere maggiore aderenza con la realtà. In un secondo momento, attraverso il comando "dipingi" della superficie, è possibile applicare materiali differenti per ogni porzione della superficie selezionata (fig. 3.26). L'operazione di divisione della superficie di rivestimento murario è stata lunga e complessa, poiché il numero delle lastre era considerevole ed alcune forme geometriche molto complesse e minute, delle vere e proprie tarsie marmoree.

Il rivestimento marmoreo è caratterizzato principalmente dall'alternanza bicroma del marmo bianco delle Alpi Apuane, più comunemente noto come marmo di Carrara, e marmo verde di Prato. Il marmo di Carrara, o come era noto agli antichi *marmor lunensis* (marmo di Luni), è un tipo di marmo estratto dalle cave delle Alpi Apuane in territorio di Carrara, universalmente noto come uno dei marmi più pregiati. E' un marmo arabescato, una roccia di origine metamorfica costituita da una breccia ad elementi di marmo, che affiora diffusamente nelle Province di Massa-Carrara e Lucca, dove sono coltivati fin dall'epoca romana. La fervente attività delle cave si dovette soprattutto ai Maestri comacini, a Nicola e a Giovanni Pisano, che lo utilizzarono per le loro opere nell'Italia centrale; durante il Rinascimento fu il marmo utilizzato da Michelangelo, che veniva a scegliere personalmente i blocchi su cui lavorare, mentre nel XX secolo se ne fece largo uso durante il Fascismo. Il marmo verde di Prato, noto anche come Serpentino, è invece una roccia metamorfica appartenente ai

complessi ofiolitici dell'Appennino Settentrionale, e presenta diverse tonalità di verde, dal chiaro allo scuro fin quasi al nero, talora con riflessi bluastrì, anticamente proveniente dalle cave di Figline Valdarno ed Impruneta (Bastogi, Fratini, 2004). Il suo uso ornamentale si è diffuso in Toscana a partire dall'XI secolo, grazie alla sua somiglianza con il Porfido Verde Antico, largamente utilizzato nelle tarsie dell'*opus sectile* tardoromano e chiaramente non più disponibile all'epoca. E' stato utilizzato fino agli anni 90 del secolo scorso, quando le cave vennero abbandonate per la "questione amianto". Per questo motivo, quando si è posta l'irrimediabile necessità di sostituire le lastre ammalorate di verde Prato, è stato necessario ricorrere al marmo Verde della Val Malenco (Garzonio et. Al., in Gurrieri 2017, p. 188).

Un'ulteriore tipologia di marmo impiegata per il rivestimento in facciata, soprattutto per le decorazioni minute è il marmo rosso, e nello specifico le Marne del Sugame di Cintoia. Si tratta di una roccia sedimentaria carbonatica appartenente alla formazione degli Scisti Policromi della Serie Toscana; il colore è variabile, dal rosso violaceo al rosso fegato (maggiormente impiegato nelle opere architettoniche) al rosa-giallastro, e fu utilizzato fin dal XIV secolo, associato al marmo bianco e al Verde di Prato, nella tricomia dell'architettura medioevale fiorentina.

Si rintraccia tuttavia la presenza anche di materiali lapidei di spolio romani e di notevole pregio, come il marmo Imetto ed il Pentelico provenienti dai monumenti romani di Fiesole e già utilizzati per San Miniato. Anche il Porfido Rosso Antico è presente in un inserto tondo della facciata ad est, e per la



3.26/ Vista di dettaglio del rivestimento marmoreo.

sua preziosità e rarità fa pensare che un uso così puntuale e specifico fosse legato a motivi particolari oggi non più noti. Anche le cosiddette Colonne dei Pisani, addossate alla porta est sono realizzate con questo prezioso materiale¹⁷.

Tutte queste informazioni sono state tradotte all'interno del modello, nella ricerca e nella scelta di texture materiche che fossero il più vicine possibili alla realtà osservata. Sono state inserite informazioni circa l'aspetto della pietra, la sua finitura più o meno lucida, la composizione, il rilievo, la caratterizzazione della texture dell'immagine scegliendo una tinta RGB di base per la pietra, per le venature, la spaziatura fra queste e la loro larghezza (fig. 3.27). Sono state applicate al modello quattro tipologie di marmi prevalenti.

3.2.4.B La gestione delle fasi.

La ricerca in questo senso ha confermato la necessità di intendere il modello BIM informativo, come più volte detto, un archivio digitale del processo di conoscenza del manufatto architettonico. Tra le varie informazioni che è possibile inserire all'interno del database della piattaforma BIM, fra i più importanti c'è senza dubbio quello relativo ai cosiddetti filtri fase. Questo può avvenire grazie alla possibilità di personalizzazione delle funzionalità che consentono la gestione della variabile temporale: attraverso il menù di gestione del modello infatti, il software ci consente di definire e distinguere le fasi progettuali e di manutenzione durante il ciclo di vita del fabbricato e di specificare le eventuali demolizioni e costruzioni, consentendo l'inserimento della quarta dimensione all'interno del progetto. Essendo state concepite per la progettazione ex novo ed i processi di cantiere, le piattaforme BIM consentono di assegnare agli oggetti digitali il loro posto nella linea temporale delle fasi costruttive o gestionali del manufatto¹⁸. Nell'ambito del Heritage BIM, più che alla gestione delle fasi di cantiere, le funzionalità 4D possono essere invece impiegate ai fini della conoscenza del manufatto, conferendo alla variabile temporale un'accezione diversa. I filtri fase diventano dunque un elenco delle fasi edilizie del monumento, e, se applicati al momento della costruzione di ogni oggetto nel modello ne forniscono informazioni circa l'epoca di costruzione e le eventuali modifiche successive; in questo senso il modello BIM diviene anche lettura sincronica delle fasi edilizie del manufatto architettonico. Questa prospettiva di applicazione induce a pensare che, nel processo di co-

noscenza di un manufatto storico architettonico, le consuete analisi propedeutiche al restauro, come l'individuazione delle fasi evolutive delle fabbriche, potrebbero essere effettuate direttamente in 3D in ambiente HBIM. L'inserimento di questo tipo di informazioni prescinde ovviamente un'accurata ricerca delle fonti storiche ed archivistiche, che nel caso del Battistero, è stata affrontata all'interno del capitolo 2. Stabilite le fasi storiche, si passa alla personalizzazione della linea temporale attraverso il menù di gestione di *Autodesk Revit*; le fasi edilizie inserite nella piattaforma hanno riguardato in primo luogo l'edificazione del manufatto, in tre periodi principali, e le aggiunte successive fino al XVII secolo (fig.3.28)

Inoltre, con le dovute cautele, si potrebbe pensare di seguire lo stesso criterio per fasi e di modellare eventuali oggetti digitali appartenenti a fasi edilizie del passato del manufatto, oggi non più manifeste, tentando una "ricostruzione digitale" del monumento, e considerandole come soluzioni di variante. Così, personalizzando le fasi costruttive con regole di sostituzione grafica, tramite il medesimo pannello di gestione, e in seguito all'applicazione dei filtri a specifiche viste del modello, si ottengono visualizzazioni tematiche del modello informativo in merito all'evoluzione storica del manufatto e all'analisi diacronica delle fasi edilizie.

Oltre al materiale e alla fase edilizia di appartenenza dell'elemento è possibile inserire anche descrizioni circa l'elemento modellato, le sue caratteristiche specifiche e la lavorazione. La possibilità di inserire diversi tipi di attributi informativi LOI è essenziale nel campo del patrimonio costruito soprattutto per la potenziale applicazione delle piattaforme BIM authoring al campo della manutenzione, della gestione e del restauro del patrimonio culturale. A tale proposito sono interessanti le ultime ricerche condotte nel campo della rappresentazione e materializzazione dei fenomeni di degrado all'interno dei modelli BIM per il patrimonio storico, sperimentando l'utilizzo di specifici algoritmi o delle componenti generiche adattive della modellazione parametrica (fig.3.29). L'obiettivo è quello di superare la classica rappresentazione del degrado graficizzata sui prospetti del manufatto attraverso l'uso di campiture normalizzate e simbologie grafiche, che non danno conto della quantità di superficie o cubatura coperta, ma di riportarlo direttamente sulla geometria tridimensionale del manufatto in BIM, rendendolo computabile. (Lo Turco et al., 2020). E' possibile inoltre agganciare file di

Giorgia Potestà

riferimento esterni, che non appesantiscono il modello, che danno informazioni “altre” circa le metodologie di acquisizioni di dati come battute topografiche o altri tipi di informazioni, come i rilievi 2D del manufatto e le ricerche di natura storico-archivistica e bibliografica.

Nell’ambito dei processi BIM si può pertanto affermare che le capacità critiche dell’operatore risiedono anche nella definizione degli algoritmi e delle regole generative della modellazione parametrica degli oggetti digitali attraverso cui si cerca di discretizzare la complessa variabilità del reale.

3.3 Il Battistero e i suoi livelli tematici.

L’approccio ad una architettura storica, stratificata ed eterogenea sia dal punto di vista dei processi costruttivi che dei materiali impiegati e degli aggregati di cui si compone, impone l’utilizzo di differenti livelli tematici che si aggiungono alla modellazione BIM di base dell’oggetto architettonico; una fra tutte la rappresentazione del LOE, il cosiddetto *Level of Evolution*, che consiste nella visualizzazione all’interno del modello, delle diverse fasi edilizie presenti. Questo tipo di rappresentazione, che deriva dall’impostazione dei filtri fase per ogni elemento nella fase di modellazione geometrica, consente non solo di arricchire il database informativo del monumento con dati utili alla conoscenza e alla gestione e manutenzione, ma trova spunti anche nel campo della visualizzazione digitale tridimensionale e comunicazione dell’architettura storica. È possibile per l’appunto, nel caso del Battistero visualizzare un’analisi sincronica delle fasi edilizie del modello, oppure generare singole viste per singole fasi edilizie, ottenendo un’analisi diacronica delle stesse (fig.3.30).

Una ulteriore tematizzazione del modello può essere rappresentata dalla visualizzazione del LOR, il cosiddetto *Level of Reliability*. Questa graficizzazione rappresenta una verifica di carattere soggettivo ma comunque basata sull’oggettività delle informazioni tangibili del modello e del monumento, oltre a quella che solitamente viene fatta confrontando il modello parametrico con quello numerico attraverso appositi software e definendo le deviazioni in un *range* espresso in centimetri, di carattere soggettivo. La visualizzazione del LOR consente di comprendere come il processo di conoscenza del manufatto architettonico storico sia graduale e con continua possibilità di miglioramento in quanto legata all’interpretazione di diversi tipi di informazioni e possibilità di nuove indagini

ed analisi. La verifica si pone come obiettivo quello di favorire la trasparenza del processo di modellazione e conoscenza utilizzato, e di validarlo dal punto di vista scientifico. Se in ambiente H-BIM qualunque composizione di oggetti digitali è sempre frutto di un’analisi critica che porta alla modellazione geometrica e alla strutturazione semantica di un modello, allora la codifica del Level of Reliability (Maiezza, 2019) non potrà non tener conto tanto dell’affidabilità geometrica dell’oggetto digitale quanto della rispondenza ontologica dello stesso alla realtà che si propone di descrivere (Nicastro, 2018). In ogni caso la validità del processo di digitalizzazione tridimensionale è certamente condizionata dall’affidabilità dei dati acquisiti durante il rilevamento, ma occorre considerare anche ulteriori interazioni, come la possibilità di parametrizzare la conformazione geometrica dell’elemento riconoscendone le matrici geometriche, la disponibilità di fonti d’archivio da poter consultare per la modellazione dettagliata dell’elemento, confrontare per il medesimo oggetto diversi dati ed informazioni acquisite, la possibilità di eseguire comparazioni tra il modello digitale ed il modello numerico di partenza. Il processo di analisi viene riassunto all’interno di una scheda riassuntiva proposta di questi parametri per ogni elemento del monumento (fig.3.31).

Sulla scia delle tesi di dottorato precedenti circa la definizione del Level of Reliability (Nicastro, 2017), la scheda informativa è stata rielaborata e strutturata in modo che l’operatore possa prendere in esame le differenti categorie, o fattore influenti, che concorrono alla determinazione della *reliability* degli oggetti digitali. Per ogni macro categoria è possibile raggiungere un punteggio che va da 0 a 2, e la media aritmetica di questi valori, moltiplicata per un fattore 5 tramuta il valore ottenuto in una facile lettura su scala da 0 a 10. A questa viene aggiunta una ulteriore informazione circa il LOR medio del modello, ottenuto dalla media aritmetica dei LOR dei singoli elementi modellati. Al fine di ottenere una migliore misurazione del LOR medio sarebbe opportuno applicare dei punteggi pesati ai singoli elementi, in modo da farne influenzare correttamente ed in maniera maggiormente scientifica il risultato finale. Si potrebbero basare i punteggi sull’applicazione dei metodi di valutazione utilizzati in ambito medico; tuttavia tale studio vuole essere uno spunto di riflessione da ampliare in successivi approfondimenti di ricerca.

La graficizzazione tematica invece, che riassume l’analisi de-

scritta, è ausiliata dall'utilizzo di diversi colori che indicano una attendibilità del modello alta, in cui è possibile ricostruire completamente la geometria dell'elemento, la stratigrafia ed ogni tipo di attributo informativo come materiale e fase edilizia, una attendibilità media, in cui è possibile ricostruire correttamente la geometria desumendola dai dati di rilievo, i materiali e la fase edilizia, ma non si hanno a disposizione informazioni sulla stratigrafia interna, ed infine una attendibilità bassa, in cui è possibile ricostruire solo la geometria con le dovute semplificazioni del caso¹⁹.(fig.3.32).

3.4 Definizione ontologica del Battistero: abaco degli elementi modellati.

Tutti gli elementi modellati, o meglio gli oggetti digitali, sono stati catalogati e schedati al fine di favorire una lettura complessiva dell'organismo architettonico digitale. All'interno di questa "schedatura ontologica" degli elementi del Battistero si è tenuto conto non solo degli attributi LOG, come profili e modelli generici utilizzati per la composizione dell'elemento, ma anche degli attributi informativi LOI, come i materiali utilizzati e la fase edilizia dell'oggetto tridimensionale. Un'informazione che si è pensato di aggiungere, all'interno della scheda, è l'indicazione circa il tempo impiegato per la modellazione dell'oggetto digitale. Questa è stata espressa su tre livelli a cui si sono attribuite fasce temporali e relativi punteggi crescenti:

livello basso_Da 1 a 15 minuti impiegati per la modellazione; il suo punteggio è 1.

livello medio_Da 15 a 45 minuti impiegati per la modellazione; il suo punteggio è 2.

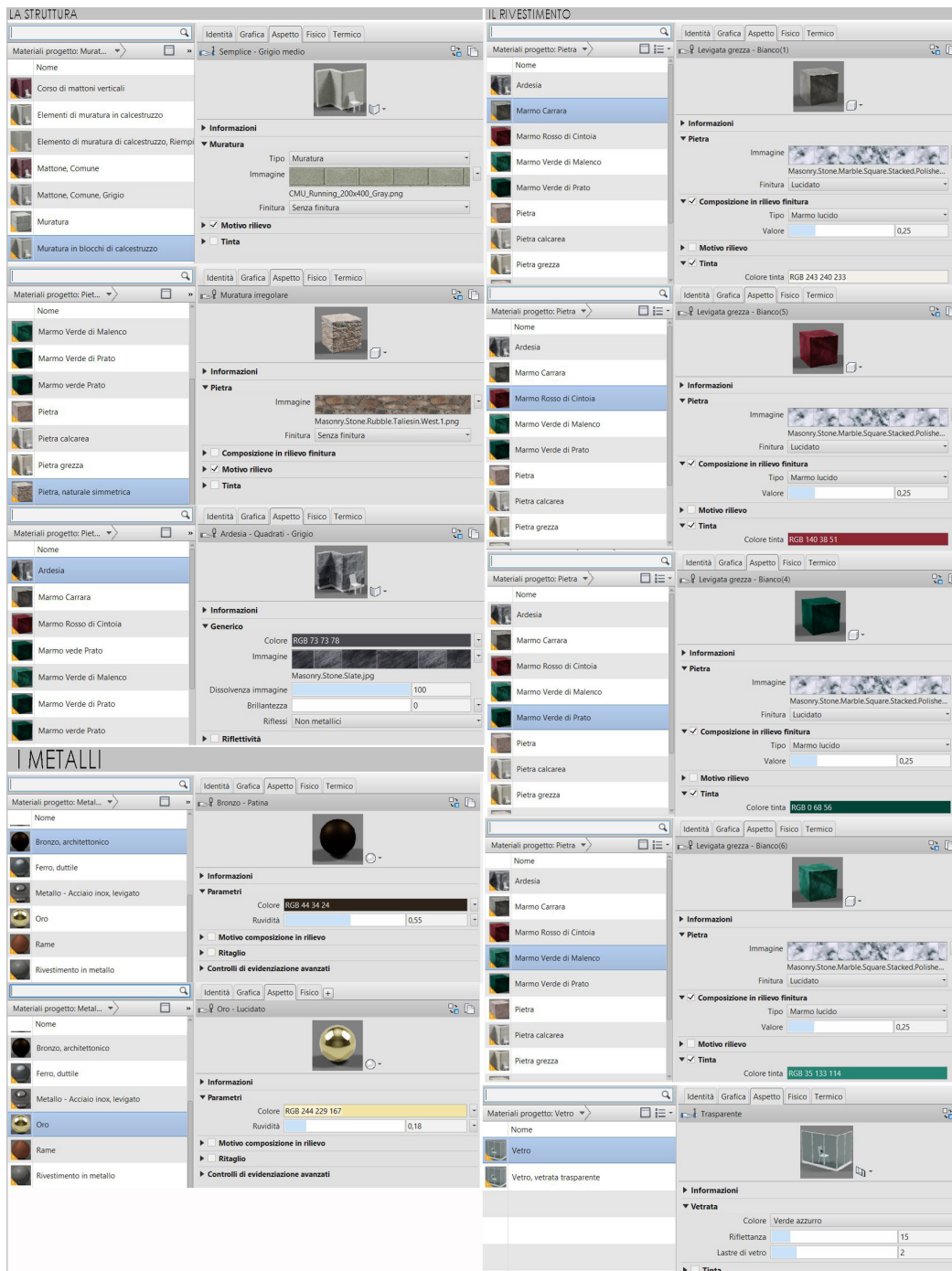
Livello alto_Oltre i 45 minuti impiegati per la modellazione; il suo punteggio è 3.

In generale si può dire che la modellazione Scan – to – BIM, ed in particolare la modellazione manuale degli elementi architettonici, comporta sicuramente un dispendio di tempo considerevole rispetto ad altri tipi di modellazione, come quella Mesh – to BIM, tuttavia dà la possibilità di riutilizzo degli stessi elementi modellati in altri progetti. La possibilità di reimpiego dell'oggetto digitale, valutata come ulteriore parametro da schedare, è stata stimata con un punteggio crescente da 0 a 2, dove 0 corrisponde ad un oggetto senza possibilità di riutilizzo, in quanto strettamente legato al progetto specifico in cui viene creato, e 2 dove si ha invece la massima

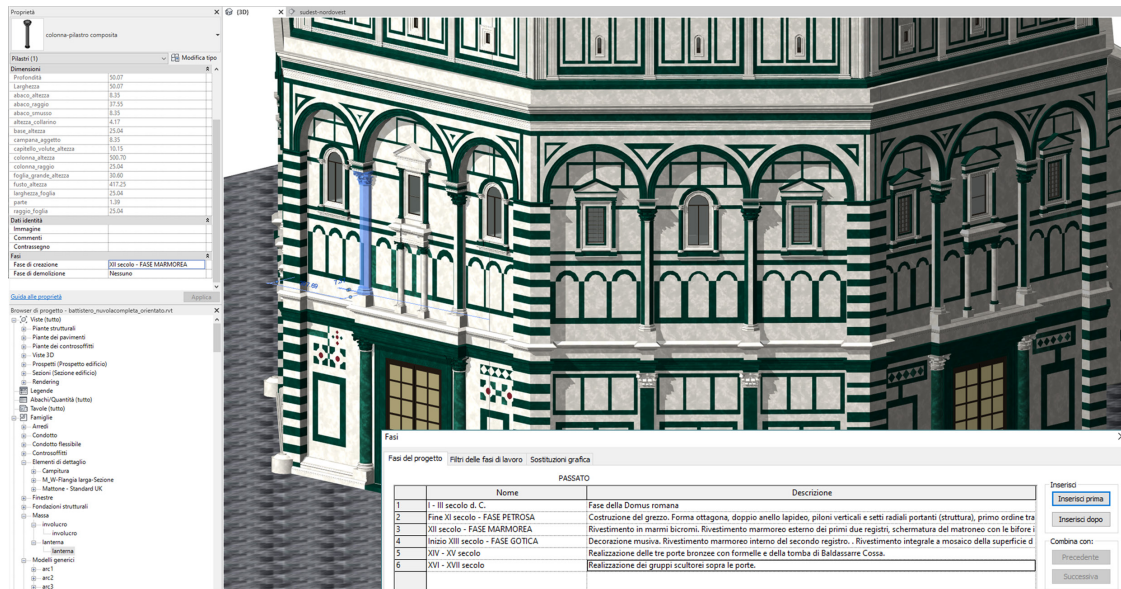
possibilità di importazione e riutilizzo. L'inserimento di questi ulteriori parametri rende possibile la valutazione del grado di "efficienza digitale" dell'oggetto modellato, ovvero il rapporto tra il possibile riutilizzo dell'elemento modellato ed il tempo impiegato nella modellazione. Potremmo dire quindi che il tempo impiegato è inversamente proporzionale alla possibilità di reimpiego dell'oggetto digitale, e di conseguenza un elemento con massima efficienza digitale ha punteggio 2 per il reimpiego e 1 per il *time consuming*.

Si riportano nell'appendice alla fine del testo alcune tra le schede ontologiche degli elementi modellati del Battistero.

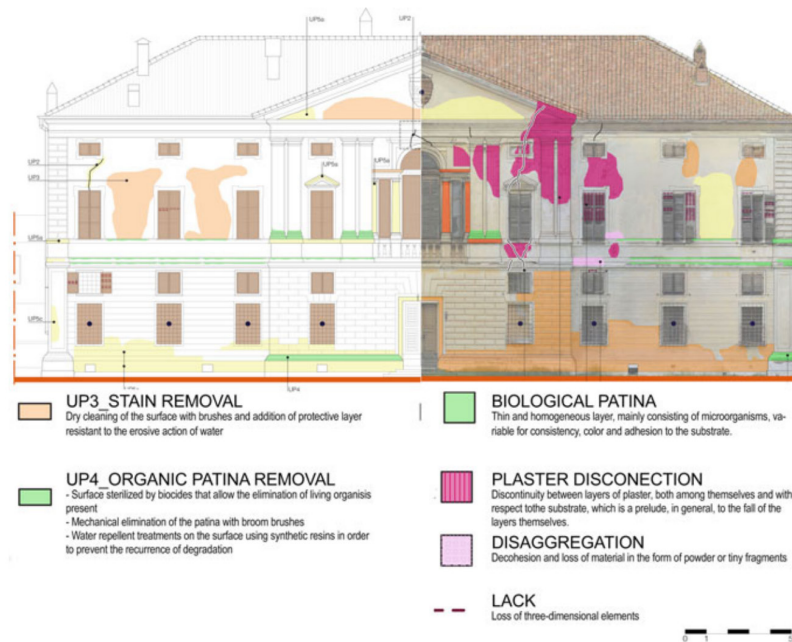
Giorgia Potestà



3.27/ Abaco dei materiali utilizzati nel modello. Per ognuno si è cercato di rendere la visualizzazione più simile al materiale reale, lavorando sulla tinta, composizione, finitura e per i marmi anche sulla configurazione dell'immagine.

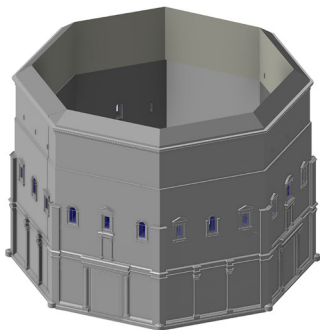


3.28/ Impostazione e gestione dei filtri fase all'interno del browser di progetto. Selezionando gli elementi del modello, nella tabella proprietà compaiono le informazioni relative alla fase di creazione dell'elemento.

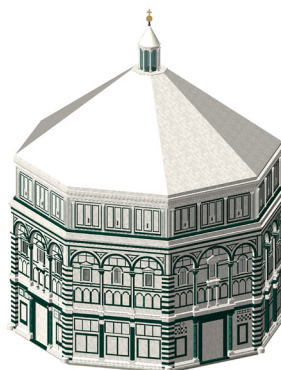


3.29/ Raffigurazione grafica ed alfanumerica del degrado in ambiente BIM attraverso l'uso di componenti parametrici. Immagine tratta da Lo Turco et al., 2020, p. 148.

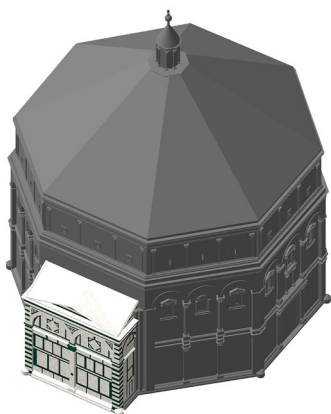
Giorgia Potestà



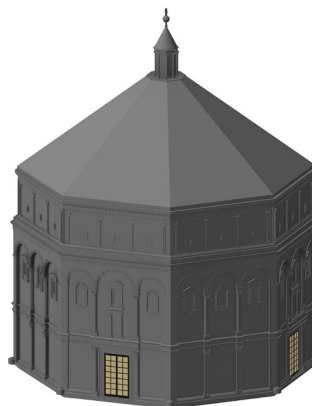
LOE 100 - FASE PETROSA E ROMANICA - FINE XI SECOLO



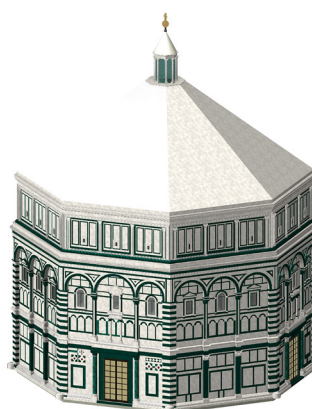
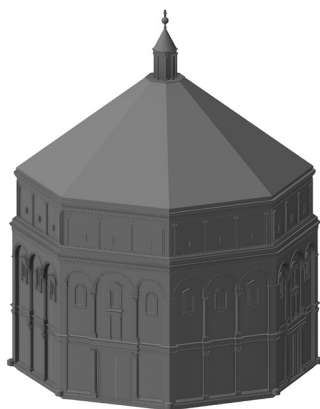
LOE 200 - FASE MORMOREA E ASTRATTIVA - XII SECOLO



LOE 300 - FASE GOTICA E PODESTARILE - INIZIO XIII SECOLO



LOE 400 - FASE RINASCIMENTALE - XIV-XV SECOLO



LOE 500 - MODELLO AS IS

3.30/ *Analisi diacronica delle fasi edilizie del San Giovanni. La piattaforma consente di generare viste differenti che mostrano solo la fase corrente, selezionandola dal menù proprietà. E' possibile inoltre gestire la sostituzione grafica degli elementi attraverso i filtri di fase.*

Scheda per la determinazione del Level of Reliability degli oggetti digitali

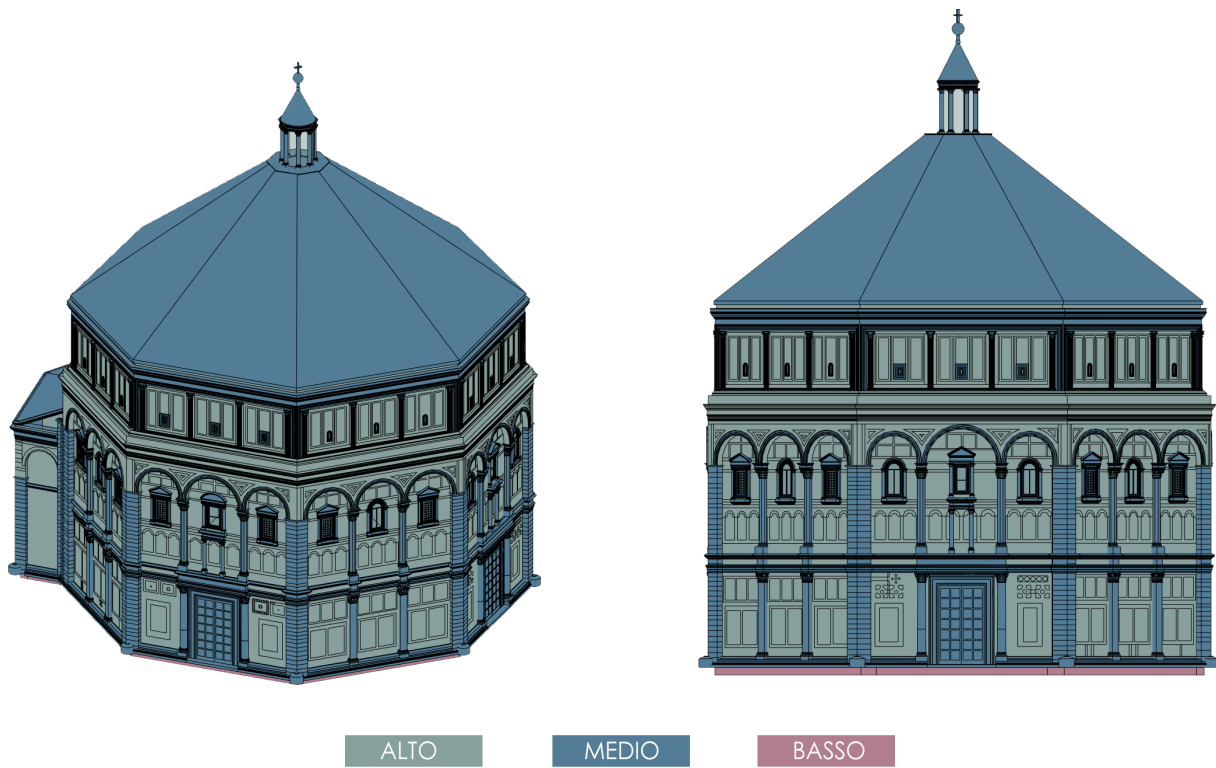
Criteri per la catalogazione

Elementi	GEOMETRIA			RILIEVO			INDAGINI			FONTI D'ARCHIVIO			CARATTERISTICHE FISICHE			DEFINIZIONE TECNOLOGICA			CONSERVAZIONE			VALIDAZIONE			FASE EDILIZIA			LOR ELEMENTO
	semplice	scultorea	generale	non disponibile	disponibile	semplice	disponibile	non disponibile	disponibile	disponibile	disponibile	non disponibile	generale	specifiche	incerta	verificata	non verificata	non verificata	verificata	non verificata	non disponibile	disponibile	non disponibile	disponibile	generale	disponibile	non disponibile	
Famiglia	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Descrizione	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
colonna pilastro ottagonale composta	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6
parete della facciata est	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.3
finestra architravata con pilastro triangolare	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6
porta est della del paracadio	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6
teflo prismale a lade plane	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6
architrave del primo registro	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6

LOR MEDIO DEL MODELLO **6.8**

3.31/ Esempio di scheda elaborata per la determinazione in scala numerica del Level of Reliability degli oggetti digitali. Il valore LOR di ciascun elemento è moltiplicato per un fattore 5 in modo da ottenere una corrispondenza su scala 0 - 10. Il valore medio del modello è ottenuto dalla media aritmetica dei livelli LOR di tutti gli elementi che compongono il modello (qui vengono rappresentati solo gli elementi principali). Il LOR medio del modello dovrebbe essere inoltre ancora implementato attribuendo al LOR dei singoli elementi un differente peso, in modo tale da consentire una corretta influenza sul valore complessivo del modello. Le categorie analizzate riguardano: la geometria degli elementi modellati, che può essere semplice, intesa come riconducibile a matrici geometriche e suddivisa a sua volta in generale ovvero parametrizzata per elementi tipo, oppure puntuale, per elementi specifici; o di forma scultorea, non riconducibile a matrici geometriche e suddivisa in traduzione geometrica simbolica o dettagliata. Il rilievo, in cui il punteggio viene attribuito in base a tipo di rilievo impiegato, se integrato o meno. Le indagini diagnostiche, più o meno disponibili e se si tratta di indagini generiche, quindi fatte a campione, o puntuali sull'elemento specifico. Le fonti d'archivio, e se queste danno informazioni generiche o specifiche a livello storico e semantico. Le caratteristiche fisiche, qualora esse fornissero informazioni ipotetiche, generiche o specifiche, come ad esempio i materiali impiegati. La definizione tecnologica, se abbia definizione incerta oppure specifica. Le informazioni circa lo stato di conservazione, disponibili in forma di collegamenti esterni oppure descritte per mezzo di oggetti digitali. La validazione, se effettuata, con deviazioni poco rilevanti o non rilevanti. Infine le informazioni circa la fase edilizia dell'elemento, determinata in modalità generica, attraverso lo studio storico oppure puntuale e specifica per il singolo elemento ed ottenuta da precise analisi. Il livello LOR di questo modello sarà facilmente implementabile inserendo ulteriori informazioni, come lo stato di conservazione dei singoli elementi e la validazione per ciascuno di essi attraverso la comparazione tra nuvola di punti e modello BIM.

Giorgia Potestà



3.32/ Il Battistero di San Giovanni. Graficizzazione del Level of Reliability attraverso l'uso di differenti colori che esprimono diversi gradi di affidabilità oggettiva degli elementi modellati. In verde il livello di affidabilità alto, per elementi dove è possibile ricostruire la geometria, la stratigrafia, i materiali e le fasi evolutive; in blu il livello medio, dove è possibile ricostruire geometria, materiali e fase evolutiva, a meno della stratigrafia interna; in rosa il livello basso, dove è possibile ricostruire solo la geometria.

Note

1 Migliari, M., *Geometria dei Modelli - Rappresentazione grafica e informatica per l'architettura e per il design*, in *Nuovi quadri di Applicazioni della Geometria Descrittiva*, Roma 2001.

2 Nel 1436 Brunelleschi, Ghiberti ed altri architetti partecipano ad un concorso per la realizzazione della lanterna della cupola del Duomo di Firenze, presentando modelli in legno. Fu scelto quello di Brunelleschi, poiché presentava un elevato livello di dettaglio, tale da servire agli operai come esempio di realizzazione. I materiali utilizzati erano vari a seconda anche delle parti da modellare: veniva usato il legno ma anche l'argilla e la cera per alcuni particolari importanti.

3 Maldonado ricorda infatti che Brunelleschi, Ghiberti e Michelozzo, così come Le Corbusier, provenivano da una formazione orafa, quindi abituati a lavorare con modelli di piccolo formato e finemente lavorati. Alcuni grandi progetti architettonici del Rinascimento, come quello della Basilica di San Pietro a Roma, hanno prodotto molti modelli in legno, alcuni dei quali ancora conservati. Il modello realizzato per il progetto di San Pietro del Sangallo veniva realizzato in contemporanea con la costruzione stessa allo scopo di controllare la costruzione dell'edificio stesso.

4 Leon Battista Alberti, riteneva che l'idea progettuale, essendo solo nella mente, era necessariamente imperfetta, e poteva trovare la sua forma compiuta solo nei disegni. Questi, a loro volta, potevano essere studiati e migliorati solo attraverso i modelli fisici, che venivano considerati il migliore strumento per lo studio e la realizzazione di un'idea. Caratteristica del modello era l'assenza delle decorazioni, in quanto questo doveva servire a valutare il rigore delle forme e delle scelte architettoniche. A questa concezione si contrapponevano gli architetti del Cinquecento, come Michelangelo o Antonio da Sangallo, che consideravano il modello come rappresentazione di un'idea già del tutto formata nella mente, e che doveva servire da guida e copia per gli operai nel cantiere.

5 Docci, M., Chiavoni, E., *Saper leggere l'architettura*, 2017. Il testo pone in evidenza il forte ruolo del disegno nella rappresentazione e comprensione dell'architettura, attraverso un metodo rigoroso e condiviso, frutto di anni di insegnamento nella Facoltà di Architettura, e muove dal mitico testo di Zevi (*Saper vedere l'architettura*), ponendo l'accento proprio sulla necessità di approccio metodologico senza il quale si rischia di non comprendere a pieno il linguaggio architettonico.

6 Industry Foundation Classes è un particolare formato di dati che consente l'interscambio di un modello informativo senza

perdita o distorsione di dati o informazioni. Si tratta di un formato file aperto, neutrale, non controllato da singoli produttori software, nato per facilitare l'interoperabilità tra i vari operatori. L'IFC è stato progettato per elaborare tutte le informazioni dell'edificio, attraverso l'intero suo ciclo di vita, dall'analisi di fattibilità fino alla sua realizzazione e manutenzione, passando per le varie fasi di progettazione e pianificazione.

7 Più in generale l'obiettivo delle ontologie è di migliorare la comunicazione fra persone ed organizzazioni, favorire l'interoperabilità fra sistemi, condividere metodi di modellazione, linguaggi e strumenti software, migliorare la ricerca usata come meta-data per indicizzare documenti e sistemi informativi in generale; tramite le ontologie abbiamo la possibilità di esprimere direttamente la struttura della nostra conoscenza e permettere alle macchine di elaborare automaticamente la conoscenza stessa, non più solo le semplici informazioni.

8 Nello studio presentato da Grilli (Grilli, E., "Metodi di classificazione automatica texture – e geometry based applicati ai beni culturali", in SIFET 2019 GEOMATICA IN CONDIZIONI COMPLESSE 64° Convegno Nazionale SIFET dal 19-21 Giugno 2019, Venezia) vengono presentati tre diversi approcci di segmentazione implementati per facilitare le esigenze di classificazione di scenari eterogenei: un approccio *texture-based*, basato sull'utilizzo dei dati radiometrici delle texture dei modelli; un approccio *geometry-based*, che sfrutta le proprietà geometriche delle nuvole di punti; infine un approccio combinato *texture- e geometry-based*. Si rimanda all'articolo citato per l'approfondimento delle tre procedure.

9 Come riportato da Blasi, Ottoni, Coisson, Tedeschi in Gurrieri, 2017, p. 133, un documento dell'Archivio dell'Arte di Calimala recita infatti che "*Apparendo nel tempio di San Giovanni alcune fessure e dubitando per l'avvenire di maggior male e particolarmente rispetto alle tende che per la festa si stavano per attaccare, il dì 16 di Giugno si deliberò di cingere tutto detto tempio con una catena o cigna di ferro che posi su il secondo cornicione di sopra alle porte di detto tempio commessa e munita in modo che non si veggia*" (1541, 16, VI).

10 Descrizione tratta dal Vocabolario Online Treccani al link: <http://www.treccani.it/vocabolario/entasi/>

11 Questa procedura è stata adottata da Paul Aubin nella modellazione del fusto della colonna e descritta nel volume *Renaissance Revit* utilizzando il metodo descritto da Chitham.

12 Vedi abbreviazioni e sintassi valide per le formule in <https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit-products/le->

arn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ITA/Revit-Model/files/GUID-B37EA687-2BDF-4712-9951-2088B2A8E523-htm.html

13 Qualora il software riscontrasse l'errore "unità di misura disomogenee" occorre moltiplicare o dividere per 1.

14 Attraverso il comando Render/Show normal possiamo vedere come sono posizionate le normali generate.

15 Il *De Architectura libri decem* (i dieci libri dell'architettura) è il più antico trattato di architettura, e l'unico datato prima della nascita di Cristo che sia pervenuto nella sua interezza. Oltre a fornirci preziose informazioni sulle opere e sui principi architettonici dell'antichità, esso è anche il testo di riferimento di tutte le teorie architettoniche a partire dal Rinascimento. Scritto probabilmente nel secondo o terzo decennio a. C., il trattato è dedicato all'imperatore Augusto, ed è opera di un ingegnere militare dell'armata romana conosciuto come Gentile Vitruvio. Durante il medioevo il testo viene tramandato in numerosi manoscritti tuttavia perdendo il suo ruolo principale nella pratica costruttiva; è solo nel XV secolo con Leon Battista Alberti che viene riconosciuto in esso un modello esemplare e diviene testo di riferimento. Diviene così uno dei trattati più importanti dell'epoca moderna e tra il XV e XVI secolo vengono realizzate numerose edizioni illustrate, a cura di grandi personaggi come Serlio, Palladio, Vignola, che rendono la teoria di Vitruvio divulgabile ed applicabile.

16 Per le pietre da costruzione della muratura a blocchi posso ipotizzare l'utilizzo della Pietraforte, anche detta "Macigno", largamente utilizzata come pietra da costruzione in conci per gli edifici nella città di Firenze fin dal Medioevo, e nel Rinascimento per la lavorazione "a bugnato". È una roccia sedimentaria torbiditica appartenente alla omonima formazione facente parte del Supergruppo della Calvana (Liguridi esterne); si presenta con colore grigio azzurrognolo al taglio fresco, ocra ferrigno per alterazione. Appartiene alla famiglia delle arenarie litiche a cemento carbonatico, e le più note zone di affioramento in Toscana sono le colline a Sud di Firenze, Greve, Santa Fiora e Monti della Tolfa. Le cave antiche di questa pietra ricadono tutte nel Comune di Firenze: S. Felicità, Boboli, Costa San Giorgio, Monteripaldi. Gli edifici di maggiore interesse costruiti a Firenze con questa pietra sono: Palazzo Pitti, Palazzo Strozzi, Palazzo Antinori, Palazzo Medici Riccardi, Palazzo Rucellai, Palazzo Uguccioni, Palazzo Vecchio, la Loggia dei Lanzi, le Chiese di S. Gaetano e S. Trinita e l'Orsanmichele.

17 Tali colonne facevano parte del bottino che i Pisani presero a Maiorca e Minorca nel 1117 e che donarono ai Fiorentini in segno di ringraziamento per aver protetto Pisa durante la guerra dai

pirati Saraceni delle Baleari.

18 Esistono inoltre specifici *tools* e *plug-in* attraverso cui è possibile gestire in maniera ancor più avanzata la simulazione ed il controllo della variabile temporale delle attività nell'ambiente BIM, ma comunque riferiti alla cantierizzazione del progetto, alla sicurezza sul cantiere e alla gestione delle varianti in corso d'opera.

19 Le semplificazioni della geometria avvengono negli elementi per cui la rappresentazione parametrica dettagliata è difficoltosa, provoca un elevato dispendio di tempo, riguarda elementi scultorei con un'elevata complessità di dettaglio, oppure non si dispone di sufficienti informazioni geometriche provenienti dai dati di rilievo.

4. Modellazione e compromessi: criticità della piattaforma BIM per l'antico.

“Qualunque cosa si faccia, si ricostruisce sempre il monumento a proprio modo; ma è già molto adoperare pietre autentiche”.

Marguerite Yourcenar, Memorie di Adriano, 1988.

È indubbio che l'universo BIM susciti grandi e diversificati interessi nel campo delle discipline della rappresentazione. Come abbiamo visto infatti, esso sembra presentarsi come un sistema in grado di fornire, all'interno di un'unica piattaforma, strumenti di analisi, visualizzazione, documentazione e gestione del patrimonio architettonico e dei suoi processi nel tempo (Bianchini et. Al, 2016). L'approccio BIM al patrimonio costruito mostra in questo senso importanti prospettive di utilizzo e analisi di complessi storici esistenti, nonostante sia auspicabile ancora una ottimizzazione delle procedure e soprattutto un miglioramento nella gestione informatica del progetto, sia per quanto riguarda la facilità di esportazione e importazione dei dati da un software all'altro¹, che la capacità di rappresentare la complessità del costruito storico con efficaci soluzioni di approssimazione.

La traduzione del modello analitico in modello geometrico è ancora una delle maggiori difficoltà di questo campo di applicazione; l'acquisizione tramite laser scanner 3D si configura come una rappresentazione di pregio e molto accurata, ma che alla fine del processo è sottoposta al rischio inevitabile di essere cancellata in favore di un modello che necessita delle dovute semplificazioni, nonostante il metodo di modellazione si mostri interessante dal punto di vista della trasformazione parametrica, dell'integrabilità e della gestione di grandi quantità di dati eterogenei. Sfruttare appieno le potenzialità del BIM significa utilizzare quanto più possibile la modellazione parametrica, la standardizzazione e la replicabilità degli elementi nel progetto. Tuttavia, la modellazione parametrica del costruito storico, tanto perché di elevata com-

plexità architettonica e decorativa, quanto perché ridotto in stato di rudere o in cattiva conservazione, presenta un elevato grado di difficoltà e un enorme dispendio di tempo ed energie, che possono essere in parte “recuperate” solo con la consapevolezza del riutilizzo degli elementi in altri modelli e progetti, salvandoli all'interno delle proprie *Content Libraries*. Secondo questa logica appunto si è ritenuto opportuno valutare “l'efficienza digitale” dei singoli elementi del modello, in modo da poter fare un bilancio in termini di fattibilità della modellazione dell'oggetto secondo il processo descritto e discenderne le dovute considerazioni. In via teorica queste criticità nell'utilizzo dei sistemi BIM per il costruito antico potrebbero essere superate in parte con la possibilità da parte delle piattaforme di consentire maggiore automatizzazione dei processi, nonché con la formulazione di elevate capacità di personalizzazione degli elementi e delle procedure per singoli campi di applicazione, e che necessitano quindi di sviluppi futuri dal punto di vista informatico.

La componente *time consuming* inoltre, è caratteristica di questo determinato momento storico, in cui l'applicazione dei sistemi BIM al patrimonio esistente è ancora marginale e impone la creazione da zero di librerie di oggetti parametrici; è auspicabile tuttavia che in un prossimo futuro l'espansione dei sistemi BIM porterà all'esistenza di librerie parametriche digitali *open source*, in cui l'utente potrà scaricare dal web elementi già modellati, come avviene già da molti anni per i formati 2D e 3D.

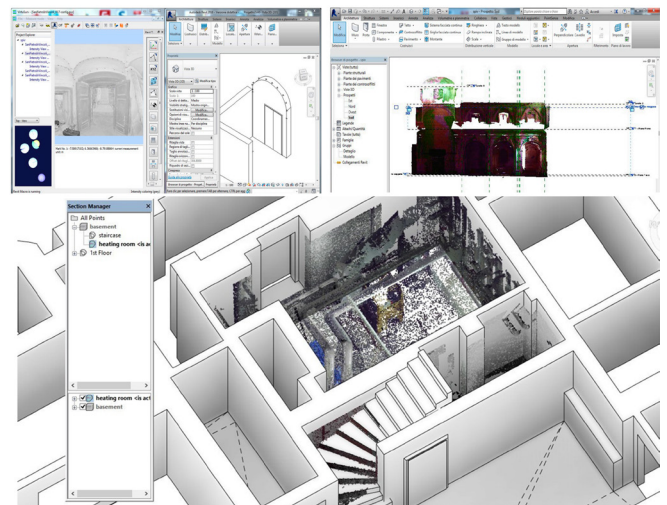
4.1 Problemi e potenzialità del modello.

Il modello Battistero dunque, alla stregua di tutti i modelli HBIM che vengono realizzati, presenta problemi e potenzialità, associate in primo luogo alla trasposizione del modello numerico nuvola di punti in modello geometrico parametrico. L'approccio utilizzato nella modellazione, come già visto nel capitolo 3, è partito dal ragionamento dicotomico di suddividere gli elementi che compongono il modello in replicabili

o unici. Già da questa prima distinzione si sono individuati gli oggetti da poter parametrizzare da quelli che invece dovevano essere realizzati al di fuori della piattaforma BIM. Il software utilizzato mette a disposizione tutta una serie di comandi familiari, utili per modellare geometricamente gli oggetti replicabili; tuttavia lo sforzo dell'operatore deve essere quello di modellarli quanto più possibile parametrici, per garantire future modifiche e riutilizzo². Non solo, ma come sappiamo occorre che egli stabilisca a priori tutte le diverse tipologie di uno stesso elemento, ad esempio le varianti di una stessa tipologia di finestra presente in facciata, in modo da pianificare l'utilizzo di determinati parametri come istanza o come tipo, al fine di garantirne la massima flessibilità. Tutto questo, deve avvenire posteriormente alla corretta discretizzazione dell'oggetto architettonico nelle sue parti strutturali, funzionali e formali.

Ecco quindi che, come accade nel processo che lega le operazioni di rilevamento e rappresentazione bidimensionale, il processo critico dell'operatore gioca un ruolo fondamentale più che in ogni altro tipo di modellazione tridimensionale canonica, in quanto trasforma criticamente i dati oggettivi provenienti dalla nuvola di punti in un modello 3D digitale alla cui base c'è un lungo processo di studio e pianificazione attenta delle componenti e dei parametri da utilizzare. Modellare in BIM impone l'ideazione e la verifica di un vero e proprio progetto per la trasformazione del reale in modello digitale quanto più fedele possibile. Le scelte soggettive influenzeranno tutta la costruzione del modello e ne determineranno l'efficacia e la flessibilità in termini di parametrizzazione. Pertanto, nel caso della modellazione BIM, quanto più nel settore del Cultural Heritage, non solo l'operatore dovrà essere un tecnico in grado di conoscere e discretizzare correttamente l'architettura storica, ma dovrà acquisire anche una formazione specifica nel campo della rappresentazione BIM e la capacità di effettuare le corrette scelte di progettazione del modello. Nel trasporre in maniera ragionata il modello numerico in modello geometrico, il software ci garantisce l'importazione della nuvola di punti solo all'interno del browser di progetto, la quale tuttavia potrà essere utilizzata solo come base per la rilucidatura delle giaciture e dei profili degli elementi, senza giocare quindi un ruolo attivo all'interno della piattaforma ed una maggiore interazione tra modello e *point cloud*. Nel caso invece della modellazione di famiglie caricabili, l'Editor

non consente di importare la nuvola di punti, ma solo formati CAD, obbligando l'operatore al passaggio 2D. L'unica interazione che la piattaforma BIM authoring consente nella versione 2019 è la possibilità di selezionare alcuni punti della nuvola, come fossero snap, per tracciare rette e geometrie su di essa in maniera più precisa; sarebbe tuttavia auspicabile che il software possa rintracciare in maniera automatizzata i profili degli elementi architettonici da modellare, consentendone successivamente la modifica e la personalizzazione, eventualmente secondo i principi degli algoritmi utilizzati per la segmentazione semantica, come lo *spatial proximities* e lavorando per piani di appartenenza. A tale riguardo, la ricerca condotta da Antonella Di Luggo e Simona Scandurra, anticipa questa possibilità utilizzando il plug-in *Point Sense* di Kubit – Faro nella versione *Heritage* (fig.4.1). Il software aggiunge una serie di funzionalità per Revit, soprattutto in riferimento all'interazione tra modello e nuvola di punti, pro-



4.1/ Utilizzo del plug in Kubit Faro Pointsense in Revit per la modellazione automatica di geometrie e profili a partire dalla nuvola di punti. In alto: immagini tratte dalla ricerca di Di Luggo, Scandurra, 2016. In basso: immagine della trasformazione della nuvola di punti in modello BIM tratta dal sito https://knowledge.faro.com/Software/Legacy-Software/Legacy-PointSense_and_CAD_Plugins/PointSense/PointSense_Heritage.

Giorgia Potestà

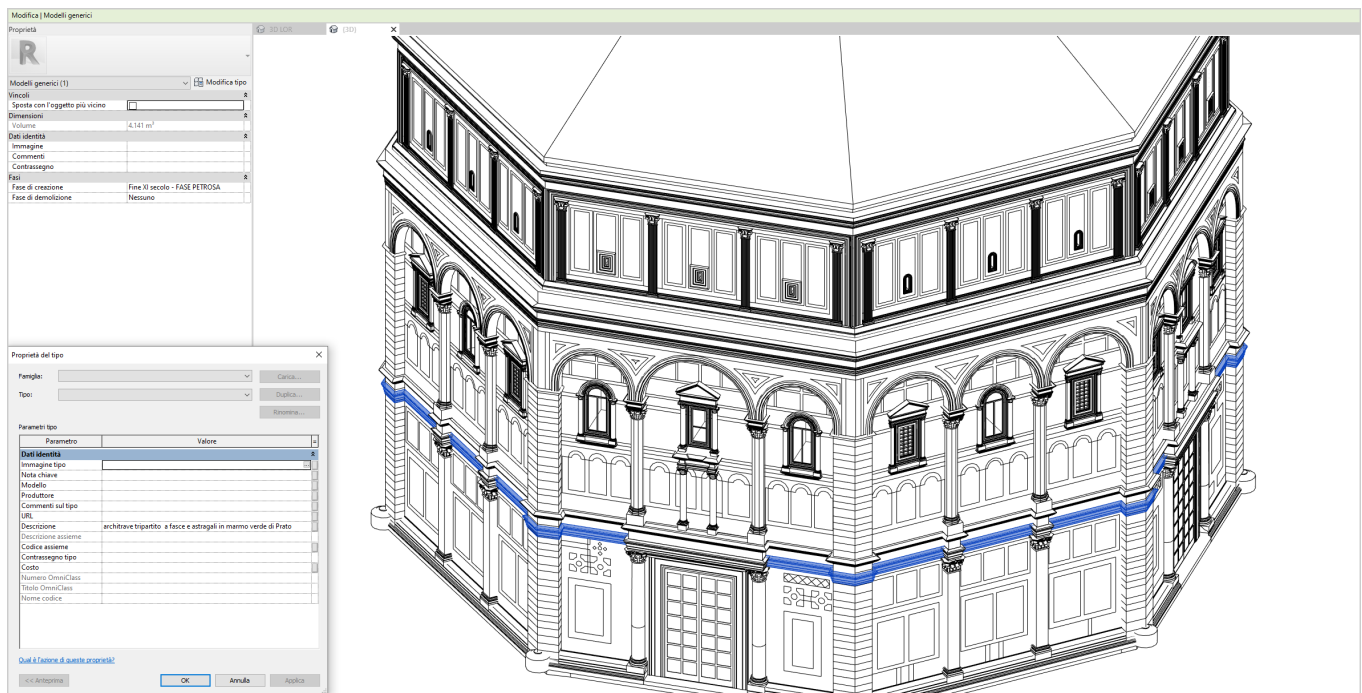
ducendo proiezioni di dati acquisiti per la costruzione speditiva di modelli 3D³ (Di Luggo, Scandurra, 2016).

In effetti la possibilità di maggiore interazione tra i due elementi all'interno della piattaforma consentirebbe una maggiore precisione nella restituzione tridimensionale degli oggetti, quindi maggiore fedeltà alla realtà rilevata, anche con la possibilità di personalizzazione e modifica da parte dell'operatore, garantendo il controllo critico delle operazioni. Questa possibilità trasformerebbe l'apparente limite della scarsa interazione tra nuvola e modello in potenzialità oggettiva, risolvendo in parte le problematiche legate alla semplificazione del modello geometrico parametrico.

Quest'ultimo limite, legato soprattutto al problema dell'articolazione delle forme architettoniche e decorative dell'architettura storica e alla loro trasposizione in termini parametrici, permane nonostante la piattaforma consenta diversi tipi di procedimenti e comandi per la restituzione tridimensionale. L'operatore deve compiere uno sforzo considerevole soprattutto

nel pianificare e pensare a come parametrizzare tutti i microelementi che compongono l'oggetto da modellare o addirittura semplicemente il profilo dell'oggetto. Per questo motivo spesso gli elementi modellati, come le colonne ad esempio, rappresentano degli ibridi, ovvero sono composti da parti parametrizzate e parti estruse semplicemente, determinando la possibilità di riutilizzo di questi elementi in un altro browser di progetto a patto delle dovute modifiche dirette sulla geometria e non solo sui parametri impostati.

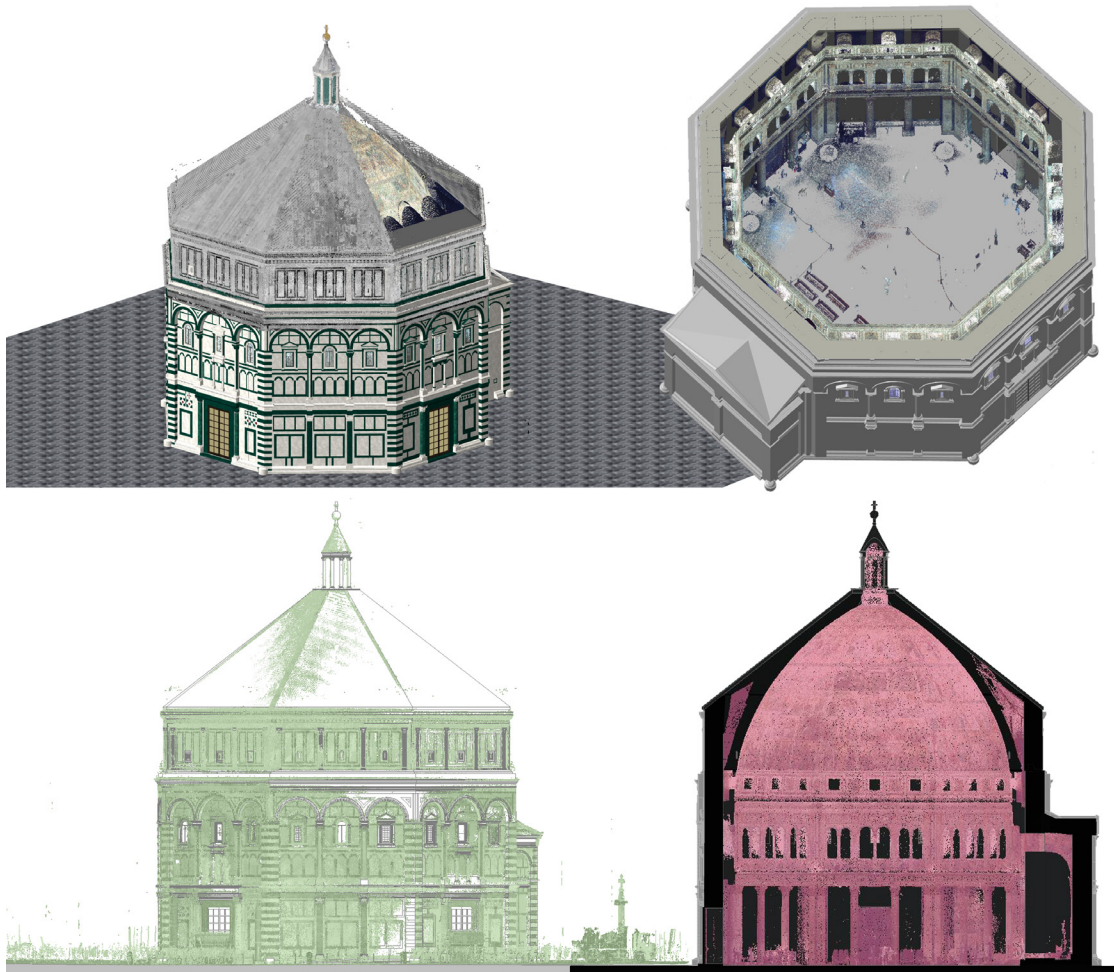
D'altro canto, è possibile inserire descrizioni nelle schede proprietà degli elementi modellati ed ulteriori categorie di dati, aggiungendo informazioni all'oggetto tridimensionale che in qualche modo possano sopperire alla non esatta corrispondenza tra attributo geometrico e reale e le eventuali semplificazioni effettuate⁴. (fig.4.2). Le potenzialità che la modellazione BIM offre, in particolare nel settore del patrimonio storico costruito, sono innumerevoli e riguardano tutte la visualizzazione digitale, la comunicazione del bene,



4.2/ Vista in linea nascosta del modello Battistero con l'architrave del primo registro in evidenza. Nel pannello di proprietà del tipo è possibile inserire descrizioni dell'elemento, come la sua composizione, o altri tipi di informazioni storiche.

la gestione e la manutenzione dello stesso, infine la raccolta documentale e la ricognizione dei dati. Questi vantaggi sono espressi in primo luogo dalla possibilità di inserire informazioni eterogenee all'interno della piattaforma sotto forma di descrizioni, proprietà e rappresentazione dei materiali, nonché delle potenzialità di utilizzo dei filtri presenti, soprattutto quelli relativi alla dimensione temporale del modello. Ancora, è possibile collegare ulteriori sotto modelli al modello centrale nella piattaforma, collegati come riferimenti esterni, come i modelli numerici di rilievo, gli elaborati 2D del manufatto architettonico e la documentazione storica relativa. E'

possibile inoltre, attraverso la gestione delle viste del modello, visualizzare contemporaneamente il modello centrale e i riferimenti esterni sovrapposti, al fine di ottenere un modello di sintesi che aiuta nella lettura e comprensione del manufatto tutti gli attori coinvolti (fig.4.3). L'inserimento dei riferimenti esterni nella piattaforma può avvenire in diverse modalità: come collegamento URL al modello sfruttando il caricamento online del materiale che in questo caso manterrà il formato originario; attraverso il collegamento tra file del modello e file delle informazioni in Autodesk Dynamo; oppure tramite importazione e/o esportazione delle tabelle contenenti le



4.3/ Vista 3D, sezione, prospetto ed esploso assometrico del modello Battistero in Revit con sovrapposizione del dato laser scanner integrato nella piattaforma. Opzioni di visualizzazione del modello: realistico, linea nascosta e colori omogenei.

Giorgia Potestà

informazioni in formato CAD e successiva importazione nel modello Revit, metodo scelto nel caso del Battistero (fig.4.4). La piattaforma consente l'inserimento di molti e diversi tipi di dati, che concorrono tutti alla documentazione del monumento, e pertanto si configura *in primis* come database univoco dell'oggetto architettonico; si trasforma poi nella possibilità di rendere visibili alcune di queste informazioni, come i materiali impiegati e le fasi edilizie, e diventa quindi visualizzazione e comunicazione del monumento; infine, rendendo il più possibile aderente alla realtà la rappresentazione geometrica degli elementi, consente la pianificazione degli interventi di restauro e gestione del bene, anche grazie alla possibilità di estrazione di abachi e computi che esprimono quantitativamente le geometrie modellate, come ad esempio la superficie in mq ricoperta dal marmo verde di Prato, o i mc coperti dalla volta a botte della scarsella etc. Lo studio sul patrimonio storico pone al centro della ricerca temi importanti come lo scorrere del tempo e la consistenza della materia che si è conservata; risulta perciò fondamentale stabilire relazioni tra i dati acquisiti della spazialità del monumento, la sua matericità, le fasi costruttive e lo stato di conservazione, strutturando l'informazione in modo che sia direttamente relazionata all'oggetto rappresentato e semanticamente definito.

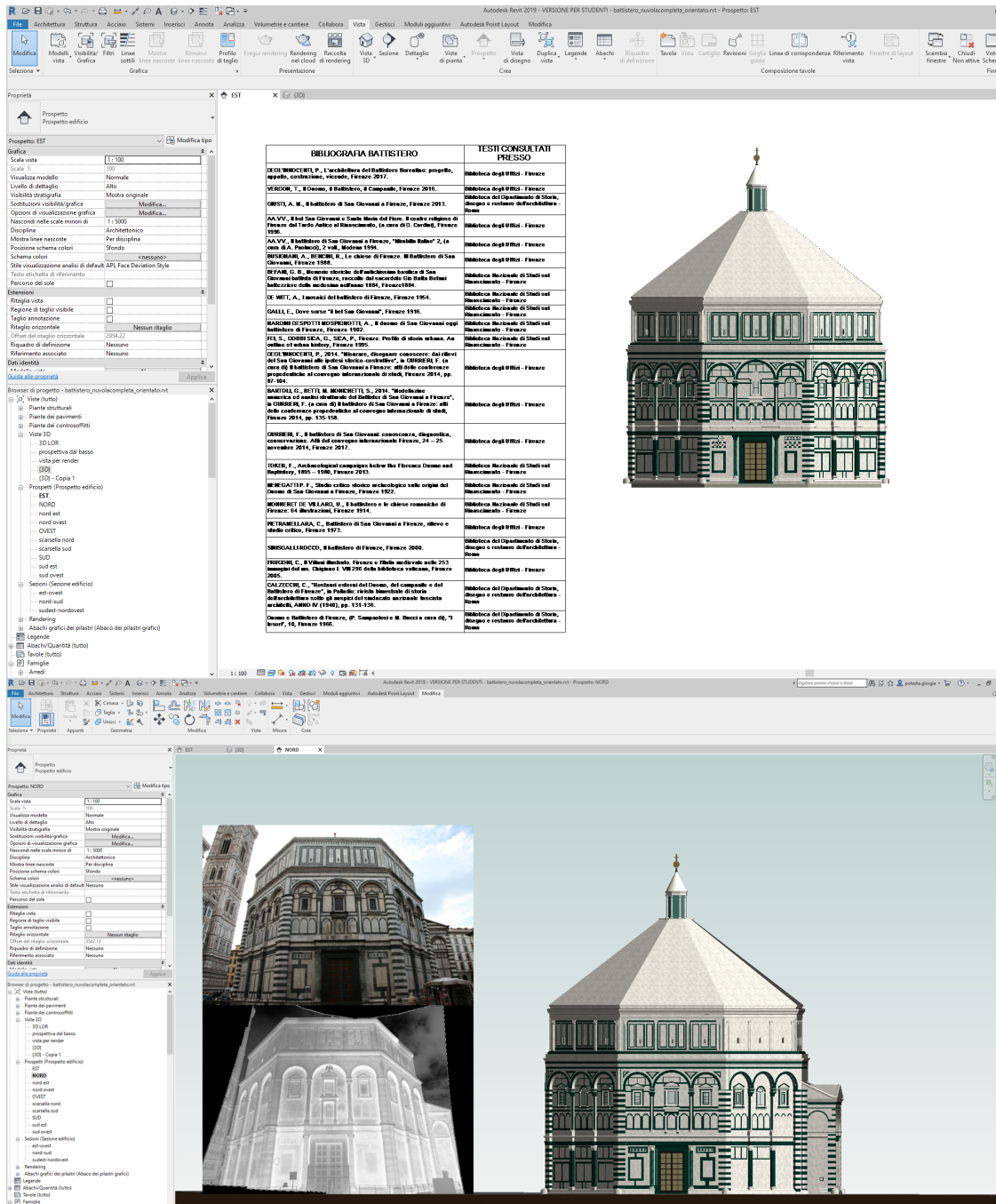
È comunque evidente che nelle scelte progettuali l'operatore compie alcune semplificazioni, come in questo caso, nella scelta di modellare come parametrico lo spessore murario del Battistero poiché soggetto a lievi discostamenti nel suo perimetro dal valore medio di 180 cm (fig.4.5). Questo tipo di decisioni influenzano la costruzione tridimensionale e determinano la convivenza di LOD disomogenei all'interno del modello stesso, in quanto inficiati da gradi di conoscenza differenti e semplificazioni differenti dal punto di vista geometrico; il modello costruito si muove in un range di Livelli di Sviluppo compresi tra LOD D e LOD E della norma UNI, dove la rappresentazione geometrica oscilla tra il dettagliato e lo specifico. Una volta inserite le informazioni sul degrado questi potranno diventare LOD G, propri del campo del restauro. La quantità di informazioni e analisi di cui si dispone per i singoli elementi che compongono l'organismo architettonico determinano la fedeltà geometrica dello stesso alla realtà e ne esprimono il livello di affidabilità oggettiva LOR; dobbiamo tuttavia considerare il modello BIM come sempre implementabile alla luce di nuove informazioni derivanti da

indagini, studi e scoperte.

Nonostante nell'esecuzione del modello del Battistero ci sia soffermati sulla costruzione dell'involucro esterno, sono stati comunque riscontrate alcune evidenti criticità nella costruzione delle parti strutturali, come le chiusure orizzontali e verticali. In questo senso gli elementi di copertura, il solaio di terra e i muri perimetrali sono stati modellati come famiglie di sistema, utilizzando le famiglie proposte di default e lavorando sulle stratificazioni interne per renderle il più possibile fedeli alla realtà costruita e utilizzando, a volte, la sovrapposizione di due famiglie di sistema. Il contenuto informativo riguardante alcune specifiche sui materiali le finiture e gli interventi è stato integrato all'interno delle schede proprietà sotto forma di descrizione. Il limite nell'utilizzo delle famiglie di sistema si riscontra nell'impossibilità della loro condivisione tra più progetti, poiché legate allo specifico *browser*, ma anche nella necessità di utilizzare più famiglie per la creazione di strutture complesse, come ad esempio solai caratterizzati da un pacchetto in muratura posto sopra ad una struttura lignea⁵.

Ovviamente si riscontra anche l'assoluta assenza di alcuni tipi di famiglie nella piattaforma, che invece sono essenziali dal punto di vista della modellazione del patrimonio esistente storico, come le volte tra gli elementi di copertura, oppure l'inserimento di elementi in ferro come tiranti e catene che devono essere ricompresi in altri tipi di famiglie meno coerenti. Sarebbe pertanto opportuno per il futuro sviluppare un'applicazione della piattaforma per la modellazione delle strutture e dell'apparecchiatura muraria in modalità parametrica per superare alcuni dei limiti che si riscontrano nella metodologia BIM applicata al patrimonio storico costruito.

Un ulteriore limite più in generale, nella rappresentazione BIM del costruito storico, come abbiamo già più volte ribadito, è il tempo che viene impiegato nel rendere gli attributi geometrici più fedeli possibili alla realtà soprattutto per geometrie articolate come i capitelli corinzi e compositi del Battistero. In questo caso la possibilità di avere un modello più o meno semplificato è inficiata dal tipo di obiettivo che il modello si pone, sia esso un modello comunicativo e di divulgazione delle conoscenze sul monumento, oppure un modello da utilizzare per la gestione del manufatto e per la realizzazione di interventi di restauro. Non dobbiamo tuttavia dimenticare che il modello BIM è comunque un "modello integrato"



4.4/ Visualizzazione delle informazioni collegate al modello BIM. In alto: inserimento di una tabella bibliografia che ha permesso la datazione delle diverse fasi edilizie del monumento con indicazione di dove sono stati reperiti i volumi. In basso: modellazione del prospetto nord del Battistero con inserimento delle immagini reali e termiche generate dalla termocamera nella fase di acquisizione dati.

Giorgia Potestà

in quanto dispone al suo interno di tutta una serie di dati a corredo, uno fra tutti la nuvola di punti, che fornisce una rappresentazione oggettiva dello stato di fatto dell'oggetto e che, pertanto, può essere indagata ed ispezionata laddove il modello BIM non dia informazioni sufficientemente dettagliate; allo stesso modo si può ricorrere alle informazioni contenute nelle schede proprietà degli elementi o alla catalogazione delle informazioni derivanti dalle indagini diagnostiche che pure possono essere collegate al modello e accessibili tramite link esterni. Fra le numerose e multiformi potenzialità, il BIM pertanto annovera anche la gestione diacronica e multiscalare dei modelli digitali.

4.2 Per un livello di dettaglio e di sviluppo maggiori: il passo successivo della ricerca.

Diversamente dalla modellazione geometrica, che produce una modellazione anonima basata solo sulle forme nelle quali può essere scomposta l'opera architettonica, il paradigma BIM induce a considerare la specificità di ciò che viene rappresentato, dove l'architettura è un organismo composto da parti ed elementi organizzati secondo precise regole. Tali sistemi come abbiamo visto, necessitano di basi documentali affidabili, capaci di restituire le informazioni metriche e materiche del manufatto.

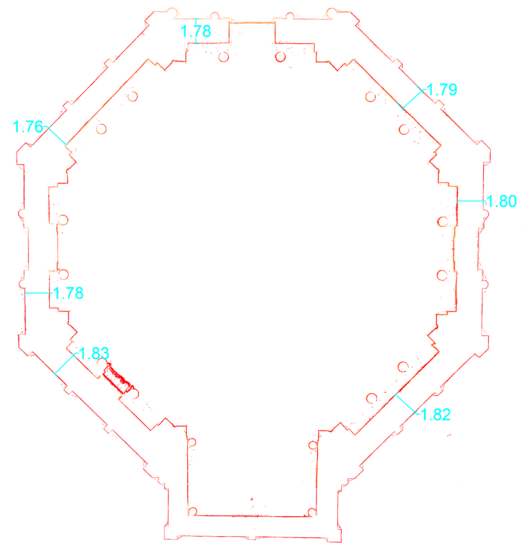
Sembra pertanto opportuno utilizzare questo tipo di rappresentazione tridimensionale per l'architettura storica, per le potenzialità informative che in esso risiedono, potendo includere in un unico ambito digitale dati storici sulle trasformazioni, registrandone progressivamente gli interventi di restauro e manutenzione, garantendo un controllo costante dell'opera nel tempo e allestendo un database di documentazione aggiornabile.

È tuttavia sempre necessario comprendere gli obiettivi per i quali viene realizzato un rilievo e la sua rappresentazione. Quest'ultima infatti costituisce sempre l'esito di un programma costruito con consapevolezza e strutturato su di una precisa intenzione. La rappresentazione pertanto ha un consistente risvolto critico, in quanto indaga nell'ambito di una conoscenza complessa, fornendo interpretazioni secondo diverse chiavi di lettura. Se questa si riconduce nella sua formulazione teorica ad un'operazione di costruzione di un modello mentale, ciò risulta ancora più evidente nei sistemi BIM, ove la chiarezza del modello è esito di una precisione analitica ed

intellettuale (Di Luggo, A., Scandura, S., 2016).

Per la conoscenza del reale è necessario un processo di semplificazione, in quanto solo riconducendo la complessità del reale ad uno schema logico è possibile conoscere e rappresentare; è pertanto necessario trovare un giusto equilibrio tra rappresentazione mimetica del reale e la sua semplificazione (figg.4.6, 4.7, 4.8, 4.9). Come sottolinea Antonella Di Luggo, la mimesi e la ricchezza descrittiva non sempre garantiscono la trascrizione dei significati del reale, ma in quanto "pedissequa imitazione", ne producono una copia replicando l'apparenza e generando informazioni non distinguibili per piani conoscitivi. Va invece perseguito l'obiettivo di una rappresentazione intelligente, capace di leggere la struttura formale dell'architettura, le sue parti ed il sistema logico che le correla.

Una delle riflessioni che ha accompagnato la ricerca durante la fase di modellazione e definizione del processo, ha riguardato



4.5/ Snapshot della pianta al piano terra del Battistero con indicazione degli spessori murari in CAD. Poiché lo scostamento sul valore medio di 1.80 m è di circa 3 cm, si è scelto di modellare il perimetro utilizzando la famiglia di sistema muro.

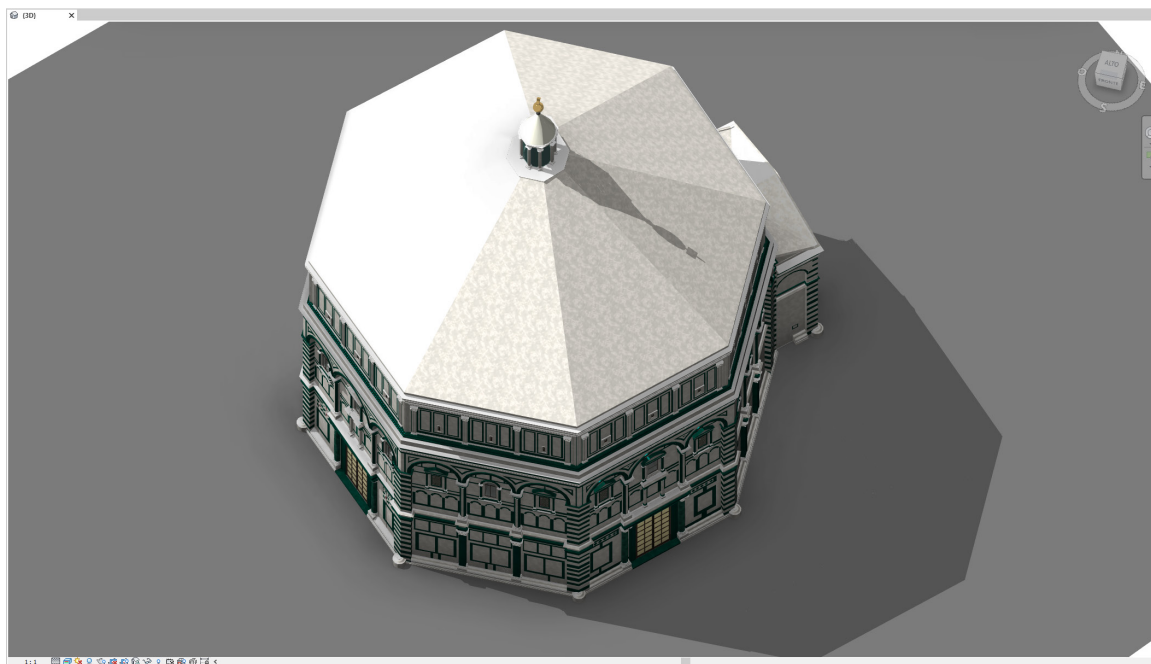


4.6/ Vista prospettica dei primi due registri del Battistero in modalità realistica con ombre.

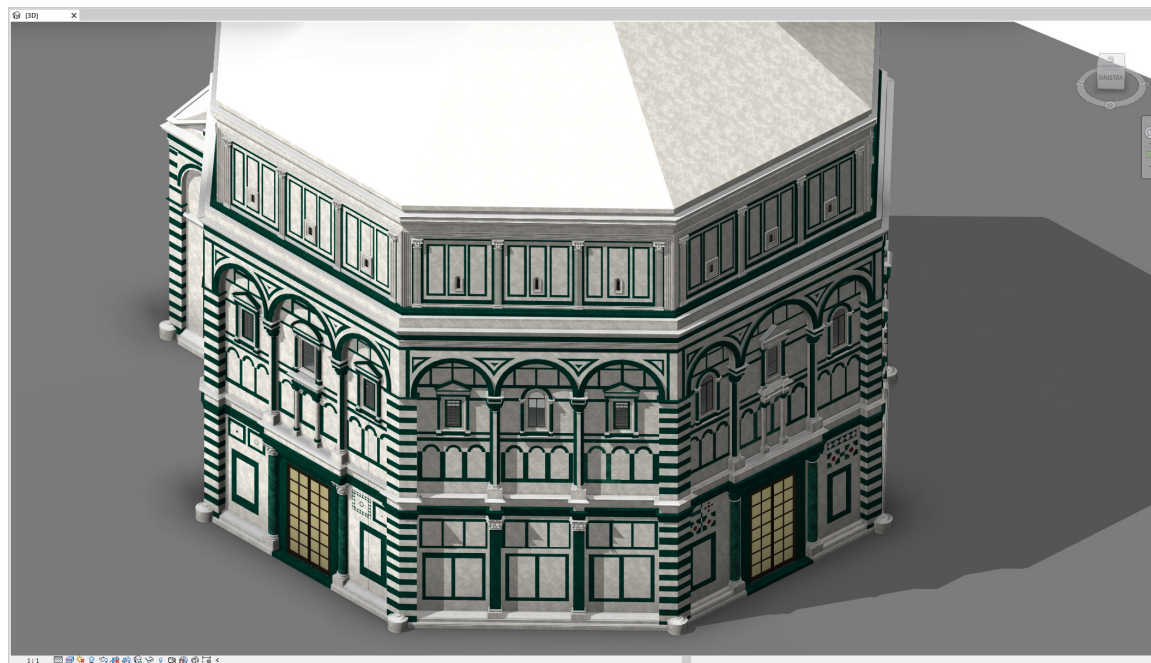


4.7/ Vista prospettica del secondo registro e dell'attico del Battistero in modalità realistica con ombre.

Giorgia Potestà



4.8/ Visualizzazione prospettica del modello dall'alto, vista dall'angolo nord ovest della piazza.



4.9/ Visualizzazione prospettica dall'alto del modello, vista dall'angolo sud est della piazza.

dato il rapporto tra LOD e scala grafica di rappresentazione che influenzano la modellazione geometrica. Questa riflessione è scaturita in fase di modellazione da una semplice domanda: a quali condizioni posso considerare le colonne pilastro tutte uguali? Ovviamente il problema rientra nuovamente nel campo delle semplificazioni che vengono effettuate dall'operatore nel passaggio dal rilievo alla rappresentazione tridimensionale ed implica un ragionamento circa il livello di sviluppo dell'elemento colonna, ma più che altro del livello di dettaglio della geometria rappresentata. Uno degli assunti che è stato applicato nella fase di ricerca e modellazione del Battistero è quello relativo alla possibilità di sopperire in alcuni casi alla semplificazione geometrica dell'elemento modellato con l'aggiunta di attributi informativi LOI presenti all'interno della scheda proprietà o con la presenza stessa della nuvola di punti nella piattaforma. Dal concetto qui esposto sono scaturite poi tutta una serie di domande teoriche che hanno cercato risposta nella pratica della modellazione dell'oggetto architettonico e vorrebbero gettare spunti per tematiche di ricerca future in questo campo.

Riguardo al quesito relativo al LOD e alla scala grafica di rappresentazione che influenzano la modellazione la risposta non può che essere affermativa, tuttavia si ritiene che quest'ultima dovrebbe essere definita a priori in fase di pianificazione della strutturazione del modello; i LOD presenti all'interno del modello saranno quindi diversi poiché inficiati dal grado di conoscenza dell'operatore circa gli attributi informativi LOI, ma tutti ricompresi all'interno di un ipotetico range che viene definito dalla scala grafica scelta in partenza. Secondo questo assunto la domanda circa la possibilità di considerare e modellare le colonne tutte uguali trova diretta risposta e corrispondenza con la scala grafica di rappresentazione che viene definita a priori⁶. Crediamo che anche la semplificazione della geometria sia consentita, e qualora fosse necessaria⁷, potrebbe essere sopperita dall'aggiunta di informazioni che descrivono l'elemento.

A tale riguardo un'interessante lettura si è rivelata quella relativa ad un primo tentativo di riassumere la relazione tra *level of accuracy*, geometria e accuratezza del rilievo nella modellazione HBIM (Brumana et. al, 2019). Come per il rilievo, in cui la scelta di una scala di rappresentazione implica un intervallo di accuratezza e tolleranza nell'acquisizione e nella elaborazione dei dati, così nella modellazione HBIM la scelta

del grado di precisione (*Grade of Accuracy*, GOA) all'interno del *Level of Geometry* guida la composizione del modello in scala che ci si aspetta venga eseguito nelle diverse fasi.

Si auspica che i temi qui delineati possano trovare riscontro ed essere di spunto per riflessioni future che riguardo passaggi delicati circa la definizione teorico-pratica del processo BIM per il patrimonio storico costruito.

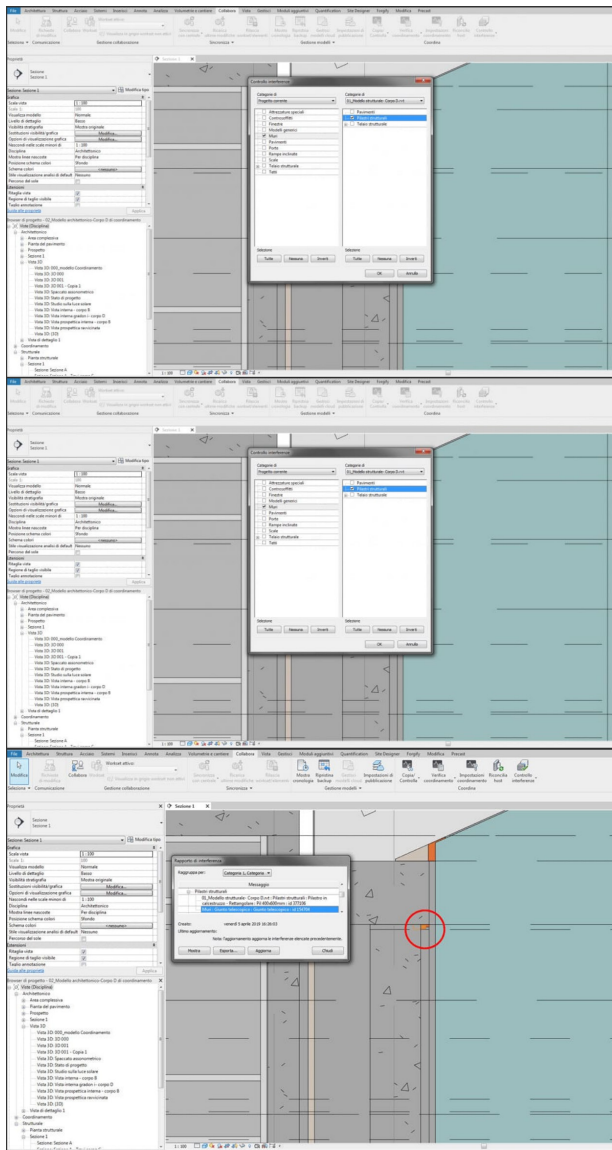
Una breve riflessione è stata fatta anche sulle possibilità di sviluppo ed implementazione del modello in futuro. Il Cultural Heritage dispone infatti di una grande quantità di modelli, che tuttavia, dopo la loro realizzazione e divulgazione diventano vetusti e sono condannati ad essere dimenticati. Il BIM ci offre in questo senso la possibilità di rendere continuamente aggiornabile e migliorabile il modello nel tempo, aggiungendo via via informazioni che riguardo la gestione del manufatto negli anni, ma anche l'aggiunta di attributi informativi e geometrici derivanti da nuove indagini. Non solo; il modello HBIM infatti si adatta anche ad una serie di altri output, come ad esempio lo sviluppo in altri ambienti, collaborativi con la piattaforma, e di realtà aumentata (AR) che oggi si configura come una delle strade preferenziali per la visualizzazione e comunicazione del patrimonio storico costruito. Un modello BIM costantemente aggiornato non è solo utile per la gestione del manufatto ma si configura, come abbiamo più volte detto, come un database univoco che ricomprende in sé tutte le informazioni aggiornate che si possiedono sul monumento, diventando una vera e propria banca dati utile alla documentazione e alla ricerca scientifica.

Va da sé che, con tutte le potenzialità che la piattaforma esprime, il modello HBIM è destinato a ricoprire ruolo fondamentale nella documentazione del patrimonio storico costruito, rappresentando un valido sostituto delle altre tipologie di modellazione tridimensionale, ma anche come sistema di raccolta e organizzazione di dati.

4.3 Verifica e controllo del modello.

Accuratezza e puntualità nello scambio di tali dati non sono caratteristiche costanti dei processi progettuali e costruttivi tradizionali, spesso caratterizzati da perdita di informazioni che causano necessariamente una nuova acquisizione e rielaborazioni, gravando di conseguenza sui tempi, costi e qualità del prodotto finito. Come abbiamo visto, il BIM è un processo di gestione delle informazioni attraverso le fasi di program-

Giorgia Potestà



4.10/ Gestione delle interferenze in Revit. Clash Detection generata dalla collisione di pilastro in c.a. presente all'interno di un modello strutturale ed un giunto telescopico all'interno di un modello architettonico. La verifica proposta avverrà tramite il settaggio delle due categorie di elementi da controllare; la clash detection verrà (di default) evidenziata in arancione, monitorata e risolta, consentendo una corretta rappresentazione grafica del sistema costruttivo. Immagini tratte dal sito: <https://www.supportobim.it/formazione/gestione-interferenze-dalla-progettazione-al-cantiere/>

mazione, progettazione, realizzazione e gestione di un'opera; non si tratta solo di modellazione tridimensionale, quanto piuttosto della creazione di un sistema informativo parametrico attraverso il quale incrementare le informazioni connesse al progetto tramite collegamento diretto agli elementi costruttivi. Il processo, con la metodologia BIM, diventa iterativo e la definizione e gestione dei requisiti progettuali deve svilupparsi in modo parallelo al processo stesso; deve essere in grado di adattarsi ai cambiamenti che intercorrono nell'intero ciclo di vita di un'opera. Tale approccio rende i soggetti coinvolti più collaborativi ed integrati, in funzione non solo della costruibilità del progetto, ma anche nell'uso, nella manutenzione e gestione dell'opera. L'obiettivo è la mitigazione del rischio di incoerenza e fondamentale risulta quindi la validazione del contenuto informativo. Il continuo sviluppo e l'implementazione sempre più diffusa della metodologia e tecnologia BIM, nonché di formati neutri e interoperabili come l'IFC (Industry Foundation Classes) e il BCF (BIM Collaboration Format), ha portato a un sempre maggiore interesse nei confronti degli strumenti di *Model Checking* e condotto allo sviluppo di una nuova generazione di software per il Quality Assurance e Quality Control (QA/QC) basati su regole parametriche (*rule-based*). Non trattandosi di sola modellazione geometrica tridimensionale, il BIM si basa sullo scambio di informazioni attraverso le diverse fasi del ciclo di vita di un'opera e trasversalmente tra tutti gli attori coinvolti. Il contenuto informativo di un modello parametrico deve, quindi, essere validato in modo da garantire risultati affidabili nelle successive fasi di analisi. Il *Model Checking* permette di raggiungere una validazione automatizzata per il 40-60% del progetto, procedendo per controlli puntuali e non a campione. Durante la fase di controllo, tutti i parametri implementati nei modelli informativi vengono analizzati e validati sottoponendo il Building Information Model a diversi domini di validazione. Solitamente il set di regole di controllo, il *rule-set*, che viene applicato al modello è organizzato in tre fasi di verifica consequenziali: la *BIM Validation*, che ne controlla attributi e procedure di modellazione, la *Clash Detection*, ovvero il controllo interferenze, e il *Code Checking*, la verifica di conformità del progetto alle normative di riferimento. Utilizzando le piattaforme BIM authoring, la verifica di coordinamento dei modelli grafici può avvenire lo stesso in maniera automatizzata, evidenziando le *clash detection* riscontrate. All'interno

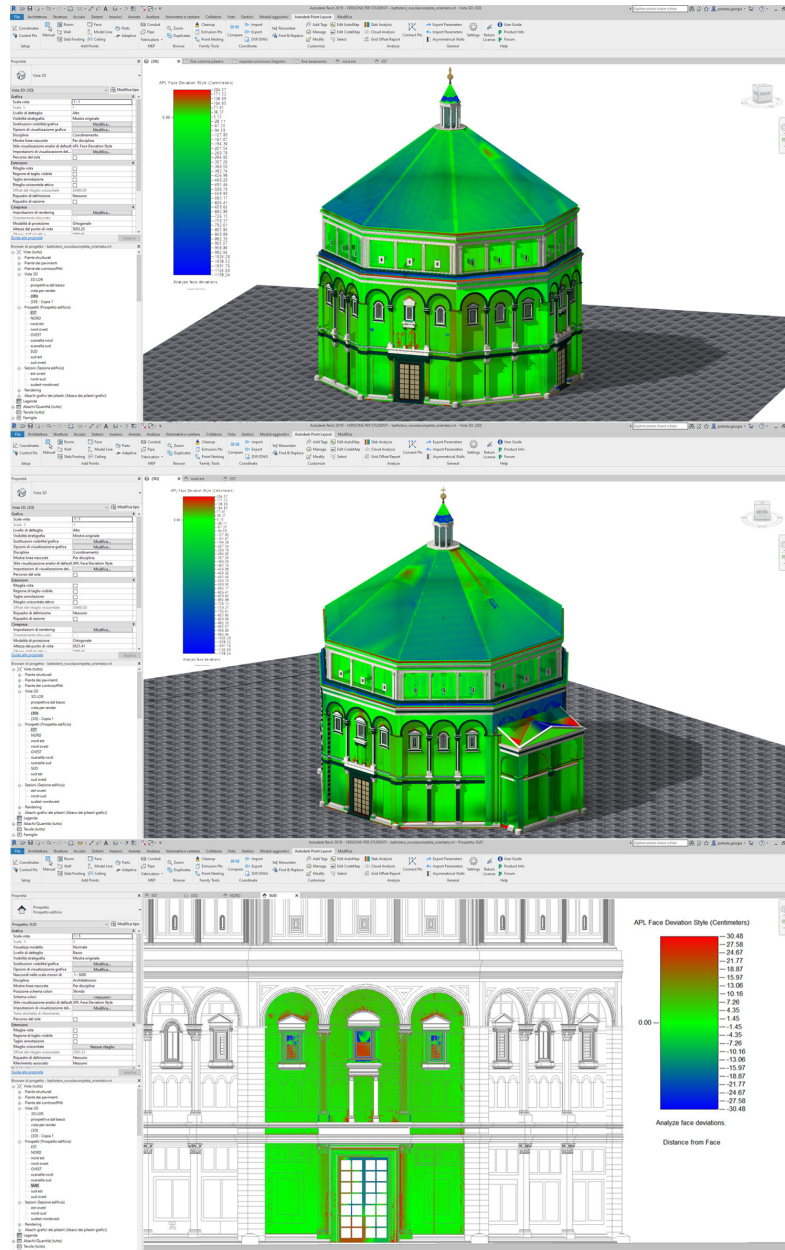
di Autodesk Revit, tramite lo strumento *Interference Check*, è possibile selezionare coppie di categorie da verificare come muri, porte, finestre, e successivamente, attraverso un report che evidenzierà collisioni tra le singole istanze, agire sugli stessi fino alla corretta esecuzione dei singoli componenti costruttivi (fig.4.10). La possibilità di eseguire verifiche sui componenti di costruzione all'interno del software di modellazione ed informatizzazione consente di tenere costantemente sotto controllo l'oggetto analizzato, monitorare ed aggiornare quindi l'intero modello fino all'estinzione delle criticità rilevate. È ormai consuetudine, nel settore del BIM per le nuove costruzioni, fare ricorso ad applicazioni di *model review* come quelle sopra descritte, tuttavia, non è utopico cercare di applicare gli stessi concetti anche al patrimonio storico costruito, utilizzando parametri particolari e specifici, ma legati comunque al concetto di "trasparenza" della modellazione (Brusaporci, 2019), soprattutto nei processi di conoscenza del Patrimonio Culturale. In questo senso il processo di revisione del modello BIM per il costruito storico potrebbe essere utile nel valutare anomalie dal punto di vista dell'accuratezza geometrica, o comunque del livello di rispondenza tra la geometria modellata ed il modello numerico che si assume come rappresentazione oggettiva della realtà, nonché nell'individuazione delle gerarchie e delle ontologie che costituiscono il modello.

Una metodologia ormai consolidata anche nella modellazione BIM, poiché applicata a molte ricerche in questo campo, oltre che nei processi di modellazione tridimensionale a partire da acquisizioni massive, è quella dell'utilizzo di software di comparazione come *Cloud Compare*, per la verifica della rispondenza tra modello e nuvola di punti (Quattrini et al., 2016). In questo caso il modello BIM viene esportato e importato nel software di comparazione. Il risultato è l'espressione di "deviazione" tra il modello e la realtà rilevata, influenzata in primo luogo dalle semplificazioni geometriche operate in fase di modellazione, in parte doverose nei processi HBIM, in parte dovute alla semplificazione intesa come astrazione di alcune forme geometriche, eventualmente replicate all'interno dello stesso browser di progetto. Lo scostamento tra la forma ideale descritta dal modello e quella reale descritta dalla nuvola di punti potrebbe essere inserito all'interno del modello come contenuto informativo, al fine di facilitare possibili verifiche e miglioramenti in futuro. Tuttavia un ulteriore

limite della piattaforma, che si è riscontrato proprio in questa procedura, è la possibilità di esportazione del modello BIM in pochi formati; infatti non è possibile esportare il modello da Revit in formato .obj che occorre per il confronto con la nuvola di punti in *Cloud Compare*. Lo stesso problema si è avuto nell'importazione in Revit della mesh modellata esternamente. Per la validazione del modello si è scelta una nuova strada, ovvero utilizzare il plug-in per Revit Point Layout 2019, che consente di confrontare superfici selezionate con la nuvola di punti importata per determinarne la deviazione. In questo modo il vantaggio è senza dubbio quello di rimanere all'interno della piattaforma e rendere condivisibili i risultati della validazione; in secondo luogo si dispone già della sovrapposizione tra modello e nuvola di punti poiché il modello è stato realizzato utilizzando la nuvola come base di appoggio; infine è possibile selezionare via via gli elementi che si vogliono confrontare selezionando le superfici. Così facendo sarà possibile calcolare la deviazione sia per le geometrie strutturanti che per gli elementi di dettaglio. Il plug-in mette a disposizione anche altri tipi di confronti, come la *slab analysis*, ovvero analisi per porzioni del modello, oppure consente il confronto per coordinate di punti, importando un listato o una battuta topografica. I risultati ottenuti sono abbastanza soddisfacenti, anche se il calcolo dello scostamento nelle viste generali ha un range molto alto. In generale comunque il modello complessivo si mantiene all'interno di un range compreso tra 0 e 5 cm di scostamento (fig.4.11). Valori molto alti di scostamento in negativo, come si evince da alcune sfumature blu, sono dovute per la maggior parte alla mancanza di dato nella scansione; tutte le zone in ombra infatti costituiscono dei veri e propri "buchi" nel modello numerico. Le parti in rosso determinano invece elementi presenti nella nuvola ma non presenti nel modello, come ad esempio le sculture poste sopra il portale o sopra le finestre trionfali. È possibile analizzare anche gli elementi di dettaglio che si vuole confrontare: nello specifico si è valutato lo scostamento dei muri, delle colonne, dei pilastri e delle finestre, ottenendo uno scostamento molto vicino allo zero, e di massimo 1,4 cm (fig.4.11). Per quanto invece riguarda la validazione degli attributi informativi, chiaramente le metodologie di *model review* automatizzato per il patrimonio costruito non possono definirsi adatte, ma in linea generale, come abbiamo già visto, il livello di affidabilità oggettiva degli elementi del modello per questo

Giorgia Potestà

campo di applicazione è dato soprattutto dalla quantità e qualità dei dati presenti nel database di partenza, come il rilievo, le indagini, la documentazione storica a disposizione.



4.11/ Validazione del modello all'interno della piattaforma BIM con il plug-in Point Layout. Calcolo dello scostamento per il modello generale e per alcuni elementi di dettaglio.

Note

1 Ad esempio nella piattaforma Revit, l'unico formato supportato per l'importazione della nuvola di punti è .rcp, e pertanto implica un forzato passaggio dal software Recap per la registrazione della nuvola e l'esportazione, cancellando la possibilità di utilizzare altri tipi di software per la registrazione come Cyclone e Faro Scene che solitamente vengono forniti con l'acquisto dello specifico laser scanner.

2 Qualora l'operatore utilizzasse i comandi di estrusione e le operazioni booleane, otterrebbe un modello tridimensionale alla stregua di quelli ottenibili con altri software senza tuttavia sfruttare le capacità e le possibilità che la modellazione BIM mette a disposizione.

3 La funzionalità di fitting consente l'adattamento automatico del modello alla nuvola di punti, attraverso analisi delle superfici che misurano l'allontanamento dell'uno rispetto all'altra, traducendo in linee e superfici porzioni della nuvola di punti.

4 Come già anticipato in fatti, la normativa italiana definisce la possibilità di integrare gli attributi dei LOD di alcuni oggetti anche con nodi e viste 2D, se non necessaria o economicamente/tecnicamente non sostenibile la loro modellazione, e la modalità di integrazione dei LOD degli oggetti all'interno del complessivo processo informativo digitale.

5 In riferimento a questo tipo di modellazione mista si veda BRUSAPORCI, S., MAIEZZA, P., TATA, A., 2019. "Prime riflessioni sulla rappresentazione e parametrizzazione HBIM dell'apparecchiatura costruttiva storica", in EMPLER, T., FUSINETTI, A., (a cura di) 3D Modeling & BIM. Modelli e soluzioni per la digitalizzazione, 2019, pp. 182-197.

6 Si ritiene che anche nel caso della scala grafica di rappresentazione della geometria il problema risieda nel rapporto, spesso errato, che si viene a creare tra Livello di Sviluppo, che come abbiamo visto comprende in se tanto gli attributi geometrici quanto quelli informativi, e il Livello di dettaglio che invece si occupa solo della geometria modellata.

7 Come abbiamo già visto la semplificazione della geometria è un'operazione naturale, critica e necessaria nella creazione di un modello, soprattutto quando la geometria da modellare è particolarmente complessa, oppure quando la modellazione al dettaglio non è necessaria in funzione degli obiettivi che il modello si propone.

Conclusioni

La ricerca presentata muove dall'ipotesi di applicare in maniera efficace i processi BIM alla modellazione del patrimonio storico costruito, delineando una possibile metodologia applicativa, descrivendo il processo attraverso una necessaria articolazione per fasi e definendo le criticità riscontrate nella modellazione nonché le potenzialità della piattaforma. Uno dei principali obiettivi della ricerca è senza dubbio quello di dimostrare che l'applicazione dei processi BIM ad edifici esistenti e di carattere storico artistico non sia svantaggioso e inadatto, secondo quanto riscontrato in un pensiero comunemente diffuso in campo scientifico, ma che al contrario possa rappresentare un'opportunità per la ricerca nel settore della rappresentazione. Le potenzialità della piattaforma BIM sono innumerevoli e molte delle quali rappresentano una eccezionale opportunità per la documentazione e comunicazione dell'architettura storica, senza considerare che il processo di costruzione di un modello HBIM per il costruito implica un maggiore studio e approfondimento sul manufatto, per struttura, funzione e forma, arricchendone di fatto la conoscenza. Il problema relativo alla semplificazione delle forme che caratterizzano le architetture storiche e alla parametrizzazione delle geometrie, che non sempre possono essere ricondotte a geometrie regolari, può essere superato in parte integrando gli attributi informativi degli elementi modellati, che trovano ampio spazio all'interno del modello tridimensionale. Inoltre le semplificazioni che vengono di fatto applicate al modello nel campo degli attributi geometrici sono direttamente influenzate dagli obiettivi preposti alla realizzazione del modello stesso.

In questo caso basta considerare l'edificio esistente al pari di uno nuovo, in cui la modellazione dello stato di fatto del manufatto corrisponde anch'essa alla definizione di uno stato di progetto; il modello *as is*. A partire da questo, anziché considerare la vita futura dell'edificio, che pure potrà essere modellata successivamente, viene ad essere ricostruita la vita precedente dell'edificio, ripercorrendo le fasi edilizie fino alla

sua costruzione. Conseguentemente a ciò, il modello di un complesso architettonico stratificato rappresenta la somma di più modelli ideali che individuano le fasi costruttive dello stesso. Più volte infatti si è ribadita l'importanza di una preliminare ed accurata ricerca storica, bibliografica e d'archivio, volta a selezionare le informazioni necessarie alla ricostruzione del manufatto architettonico, soprattutto per quanto riguarda la geometria da un punto di vista tecnologico-strutturale, costruttivo e dei materiali.

Nella realizzazione del modello HBIM Battistero, la fase cruciale è rappresentata dalla scomposizione dell'architettura nelle sue parti strutturali e formali e nell'operazione *time consuming* di ricostruzione. Quest'ultima fase è stata perseguita riflettendo in primo luogo sulle tipologie di famiglie e di modellazione che la piattaforma offre e suddividendo le parti del manufatto, a seguito della scomposizione, in due macro categorie, ognuna delle quali ha seguito un diverso approccio. Proprio nella fase di scomposizione, che mira a comprendere come le parti si aggregano e si compongono, ruolo di straordinaria importanza è dato non solo alla ricerca storica e al rilievo, ma soprattutto al fondamentale aiuto del Disegno. Procedendo infatti attraverso il disegno a mano libera, di straordinaria rapidità esecutiva, si è riusciti a governare la complessità dell'individuazione delle parti e dei loro rapporti di dipendenza, definendo le corrette gerarchie. Attraverso un'operazione di analisi grafica dinamica, in cui si disegna e contemporaneamente si vagliano informazioni eterogenee, è stato possibile comprendere l'articolazione degli elementi; parallelamente alla modellazione, il disegno a mano supporta la ricostruzione con la sua immediatezza e come strumento di sintesi del pensiero e dei processi di conoscenza, soprattutto per l'individuazione delle variabili geometrico-parametriche, dei profili e dei percorsi di estrusione e della comprensione dei meccanismi dell'architettura (fig.5.1).

Come precedentemente sottolineato dalla ricerca di Martina Attenni, l'ambito del patrimonio architettonico esistente, pur

essendo caratterizzato da una vasta quantità di dati eterogenei, offre comunque la possibilità di individuare delle regole generali che tengano in considerazione gli aspetti peculiari degli edifici analizzati (Attenni, 2019).

La diffusione dei processi BIM all'edilizia ha determinato non poche critiche riguardanti in primo luogo lo spostamento dell'attenzione dell'operatore dagli aspetti formali dell'architettura, ovvero di rappresentazione delle forme, a quelli legati al funzionamento dell'edificio, alla sua gestione e sostenibilità economica. Di fatto questa osservazione viene a cadere soprattutto nei casi in cui il BIM è applicato all'edilizia storica costruita, ove molte energie devono essere dedicate dall'operatore proprio nel rintracciare le matrici geometriche degli elementi architettonici per modellarli in modalità parametrica; definire una metodologia applicativa che determini la corretta costruzione del manufatto architettonico dal punto di vista geometrico e informativo è stato il focus della presente ricerca.

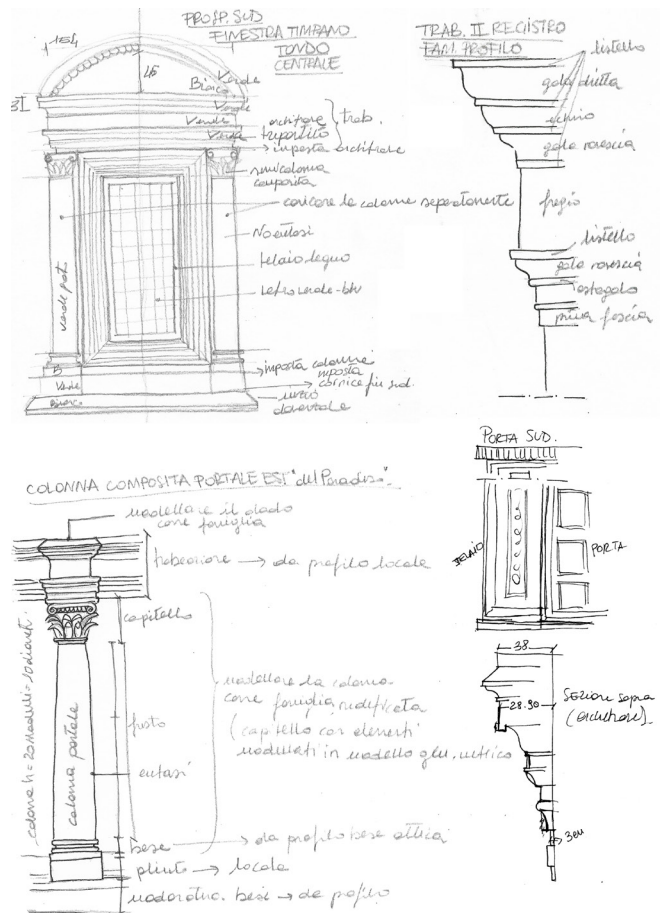
In secondo luogo il BIM impone un sostanziale cambiamento del *modus operandi*, modificando la prassi progettuale prevalentemente compositiva della progettazione, in funzione di una maggiore attenzione alle logiche strategiche, organizzative e tecniche. In questo senso viene messo in discussione il primato della figura dell'architetto in favore dell'integrazione dei saperi fra le diverse figure professionali che tutte insieme concorrono alla realizzazione del progetto e del modello, sia che esso riguardi le nuove costruzioni che il patrimonio esistente. Ad un individualismo creativo si sostituisce l'arricchimento derivante dall'ascolto di diversi esperti coinvolti; alla confusione e alle probabili contraddizioni progettuali rimedia l'interoperabilità del processo (Sacchi, 2016).

Il crescente utilizzo dei processi BIM nel campo dell'edilizia, impone ormai una specializzazione delle figure tecnico professionali, ma soprattutto una committenza in grado di configurare i fabbisogni e gli obiettivi a cui i modelli parametrici debbano rispondere. Questa deve infatti assumersi responsabilità ed essere in grado di definire un quadro di esigenze e requisiti, mentre in ambito professionale va registrata la formazione di nuove figure tecniche come il *BIM modeler, analyst, manager, consultant, researcher*.

Il processo che è stato delineato e che ha portato alla modellazione dell'esterno del monumento, si ritiene possa essere valido e applicabile a casi studio appartenenti alla sfera del

Cultural Heritage, sia per quanto riguarda la fase di scomposizione dell'architettura, che come abbiamo visto può essere articolata secondo diverse metodologie tutte ormai sufficientemente indagate dalla comunità scientifica, che soprattutto per la ricostruzione del manufatto architettonico in modello 3D parametrico.

Nel campo del patrimonio costruito si agisce in modo selettivo, interpretativo e valutativo, inserendo l'opera architettonica in un contesto che tiene conto contemporaneamente della sua dimensione originaria e di quella attuale (Attenni, 2019).




5.1/ Disegni e schizzi propedeutici alla comprensione delle parti architettoniche e alla modellazione.

Note

1 Come evidenziato da Livio Sacchi, l'architettura tende così ad avvicinarsi all'industrial design, secondo un processo cosiddetto "a quadrifoglio" già delineato da Renato De Fusco, articolato in progettazione, produzione, vendita e consumo. Il prodotto di successo deve rispondere a questi quattro aspetti. Si veda a tal riguardo De Fusco, R., *Storia del design*, Laterza, Roma-Bari 1985-2006 (9 edizioni).

Appendice: schede ontologiche degli elementi modellati.

Oggetto digitale: **colonna pilastro composita**



Tipologia di famiglia: **Caricabile nidificata**

Parametro	Valore	Formula
Dimensioni		
Profondità (default)	52.40	= colonna_raggio * 2
Larghezza (default)	52.40	= colonna_raggio * 2
abaco_altezza (default)	8.73	= parte * 6
abaco_raggio (default)	39.30	= colonna_raggio + colonna_raggio / 2
abaco_smusso (default)	8.73	= parte * 6
altezza_collarino (default)	4.37	= parte * 3
base_altezza (default)	26.20	= colonna_raggio
campana_aggetto (default)	8.73	= parte * 6
capitello_volute_altezza (default)	10.63	= parte * 7.3
colonna_altezza(rapporto)	524.00	=
colonna_raggio (default)	26.20	= colonna_altezza / 20
foglia_grande_altezza(rapporto)	32.02	=
fusto_altezza (default)	436.67	= colonna_raggio * 16 + parte * 12
larghezza_foglia (default)	26.20	= colonna_raggio
parte (default)	1.46	= colonna_raggio / 18
raggio_foglia (default)	26.20	= colonna_raggio

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate	Modelli generici metrici impiegate
profilo_base_attica profilo_collarino profilo_abaco_composito	voluta_composita

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali	Fase edilizia
marmo di Carrara marmo Verde di Prato	2_Inizio del XII secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato	Possibilità di reimpiego
3	2

EFFICIENZA DIGITALE = 0.6

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

- 1= da 1 a 15 minuti impiegati
- 2= da 15 a 45 minuti impiegati
- 3= oltre i 45 minuti impiegati

POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

- 0= senza possibilità di riutilizzo
- 1= possibilità di riutilizzo con modifiche
- 2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Oggetto digitale: **colonna composta del portale**



Tipologia di famiglia: **Caricabile nidificata**

Parametro	Valore	Formula
Dimensioni		
Profondità (default)	54.27	= colonna_raggio * 2
Larghezza (default)	54.27	= colonna_raggio * 2
abaco_altezza (default)	9.05	= parte * 6
abaco_raggio (default)	40.70	= colonna_raggio + colonna_raggio / 2
abaco_smusso (default)	9.05	= parte * 6
altezza_collarino (default)	4.52	= parte * 3
base_altezza (default)	27.14	= colonna_raggio
campana_aggetto (default)	9.05	= parte * 6
capitello_volute_altezza (default)	11.01	= parte * 7.3
colonna_altezza(rapporto)	542.73	=
colonna_raggio (default)	27.14	= colonna_altezza / 20
foglia_grande_altezza(rapporto)	33.17	=
fusto_altezza (default)	452.28	= colonna_raggio * 16 + parte * 12
larghezza_foglia (default)	27.14	= colonna_raggio
parte (default)	1.51	= colonna_raggio / 18
raggio_fiore (default)	4.52	= parte * 3
raggio_foglia (default)	27.14	= colonna_raggio
raggio_sommoscapo (default)	25.54	= colonna_raggio - 1.6 cm

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate

profilo_base_attica
profilo_collarino
profilo_abaco_composito

Modelli generici metrici impiegati

voluta_composita

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali

marmo di Carrara
marmo Verde di Prato
marmo verde di Malenco

Fase edilizia

1_Fine dell'XI secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato

3

Possibilità di reimpiego

2

EFFICIENZA DIGITALE = 0.6

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:


1= da 1 a 15 minuti impiegati
2= da 15 a 45 minuti impiegati
3= oltre i 45 minuti impiegati

POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

0= senza possibilità di riutilizzo
1= possibilità di riutilizzo con modifiche
2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Oggetto digitale: **semicolonna ionica**



Tipologia di famiglia: **Caricabile nidificata**

Parametro	Valore	Formula
Dimensioni		
Profondità (default)	47.06	= colonna_raggio * 2
Larghezza (default)	47.06	= colonna_raggio * 2
altezza_voluta (default)	63.11	=
base_altezza (default)	23.53	= colonna_raggio
capitello_aggetto (default)	23.53	= colonna_altezza - base_altezza - fusto_altezza
capitello_volute_altezza (default)	29.41	= colonna_raggio + colonna_raggio / 4
colonna_altezza(rapporto)	400.00	=
colonna_raggio (default)	23.53	= colonna_altezza / 17
fusto_altezza (default)	352.94	= colonna_raggio * 15

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate	Modelli generici metrici impiegate
profilo_base_attica profilo_collarino profilo_abaco	voluta_ionica

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali	Fase edilizia
marmo di Carrara marmo Verde di Prato	2_Inizio del XII secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato	Possibilità di reimpiego
2	2

EFFICIENZA DIGITALE = 1

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO: 1= da 1 a 15 minuti impiegati 2= da 15 a 45 minuti impiegati 3= oltre i 45 minuti impiegati	POSSIBILITA' DI REIMPIEGO: 0= senza possibilità di riutilizzo 1= possibilità di riutilizzo con modifiche 2= completa possibilità di riutilizzo	EFFICIENZA DIGITALE = $\frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$
--	--	---

Oggetto digitale: **parasta corinzia primo registro**



Tipologia di famiglia: **Caricabile nidificata**

Parametro	Valore	Formula
Dimensioni		
Profondità (default)	54.27	= colonna_raggio * 2
Larghezza (default)	54.27	= colonna_raggio * 2
abaco_altezza (default)	9.05	= parte * 6
abaco_raggio (default)	40.70	= colonna_raggio + colonna_raggio / 2
abaco_smusso (default)	9.05	= parte * 6
altezza_collarino (default)	4.52	= parte * 3
altezza_volute_piccole (default)	18.09	= parte * 12
base_altezza (default)	27.14	= colonna_raggio
campana_aggetto (default)	9.05	= parte * 6
capitello_volute_altezza (default)	11.01	= parte * 7.3
colonna_altezza(rapporto)	542.73	=
colonna_raggio (default)	27.14	= colonna_altezza / 20
foglia_grande_altezza(rapporto)	33.17	=
foglia_larghezza (default)	11.00	=
fusto_altezza (default)	452.28	= colonna_raggio * 16 + parte * 12
larghezza_foglia (default)	27.14	= colonna_raggio
parte (default)	1.51	= colonna_raggio / 18
raggio_fiore (default)	4.52	= parte * 3

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate

profilo_base_attica
profilo_collarino_parasta

Modelli generici metrici impiegate

voluta_corinzia

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali

marmo di Carrara
marmo Verde di Prato

Fase edilizia

1_Fine dell'XI secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato

2

Possibilità di reimpiego

1

EFFICIENZA DIGITALE = 0.5

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

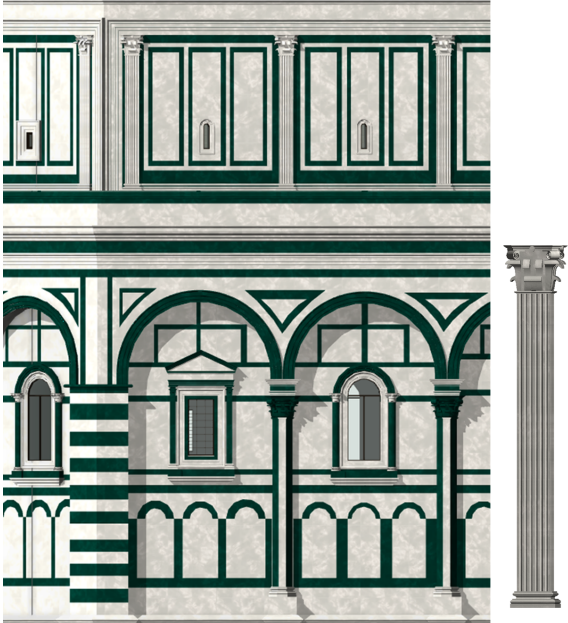
- 1= da 1 a 15 minuti impiegati
- 2= da 15 a 45 minuti impiegati
- 3= oltre i 45 minuti impiegati

POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

- 0= senza possibilità di riutilizzo
- 1= possibilità di riutilizzo con modifiche
- 2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Oggetto digitale: **lesena dell'attico**



Tipologia di famiglia: **Caricabile**

Parametro	Valore	Formula
Dimensioni		
Profondità (default)	35.18	= colonna_raggio * 2
Larghezza (default)	35.18	= colonna_raggio * 2
abaco_altezza (default)	5.86	= parte * 6
abaco_raggio (default)	26.39	= colonna_raggio + colonna_raggio / 2
abaco_smusso (default)	5.86	= parte * 6
altezza_collarino (default)	2.93	= parte * 3
altezza_volute_piccole (default)	11.73	= parte * 12
base_altezza (default)	17.59	= colonna_raggio
campana_aggetto (default)	5.86	= parte * 6
capitello_volute_altezza (default)	7.13	= parte * 7.3
colonna_altezza(rapporto)	387.00	=
colonna_raggio (default)	17.59	= colonna_altezza / 22
foglia_grande_altezza(rapporto)	28.67	=
foglia_larghezza (default)	11.00	=
fusto_altezza (default)	317.61	= colonna_raggio * 17.5 + parte * 10
larghezza_foglia (default)	17.59	= colonna_raggio
parte (default)	0.98	= colonna_raggio / 18
raggio_fiore (default)	2.93	= parte * 3

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate	Modelli generici metrici impiegate
profilo_base_attica profilo_collarino_parasta	voluta_corinzia

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali	Fase edilizia
marmo di Carrara	2_Inizio XII secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato	Possibilità di reimpiego
2	1

EFFICIENZA DIGITALE = 0

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO: 1= da 1 a 15 minuti impiegati 2= da 15 a 45 minuti impiegati 3= oltre i 45 minuti impiegati	POSSIBILITA' DI REIMPIEGO: 0= senza possibilità di riutilizzo 1= possibilità di riutilizzo con modifiche 2= completa possibilità di riutilizzo	EFFICIENZA DIGITALE = $\frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$
--	--	--

Oggetto digitale: **architrave sopra porta**



Tipologia di famiglia: **Caricabile**

Parametro	Valore	Formula
Vincoli		
Prospetto di default	121.92	=
Dimensioni		
altezza (default)	122.88	H
altezza cornice (default)	34.30	H
larghezza (default)	544.95	L
profondità (default)	44.82	P

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate

profilo_cornice_superiore_primoregistro
profilo_cornice_inferiore_primoregistro

Modelli generici metrici impiegati

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali

marmo di Carrara
marmo verde di Prato

Fase edilizia

1_Fine dell'XI secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato

1

Possibilità di reimpiego

1

EFFICIENZA DIGITALE = 1

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

1= da 1 a 15 minuti impiegati
2= da 15 a 45 minuti impiegati
3= oltre i 45 minuti impiegati

POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

0= senza possibilità di riutilizzo
1= possibilità di riutilizzo con modifiche
2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Oggetto digitale: **dado del primo registro**



Tipologia di famiglia: **Caricabile**

Parametro	Valore	Formula
Vincoli		
Prospetto di default	121.92	=
Dimensioni		
altezza (default)	123.00	=
altezza cornice (default)	34.30	=
larghezza (default)	54.00	=
profondità (default)	54.00	=

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate	Modelli generici metrici impiegate
profilo_cornice_superiore_primoregistro profilo_cornice_inferiore_primoregistro	

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali	Fase edilizia
marmo di Carrara marmo verde di Prato	1_Fine dell'XI secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato	Possibilità di reimpiego
1	1

EFFICIENZA DIGITALE = 1

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO: 1= da 1 a 15 minuti impiegati 2= da 15 a 45 minuti impiegati 3= oltre i 45 minuti impiegati	POSSIBILITA' DI REIMPIEGO: 0= senza possibilità di riutilizzo 1= possibilità di riutilizzo con modifiche 2= completa possibilità di riutilizzo	EFFICIENZA DIGITALE = $\frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$
--	--	--

Oggetto digitale: **dado del primo registro**



Tipologia di famiglia: **Caricabile**

Parametro	Valore	Formula
Vincoli		
Prospetto di default	121.92	=
Dimensioni		
altezza (default)	41.10	=
larghezza (default)	49.00	=
profondità (default)	47.50	=

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate

profilo_cornicione_secondoregistro

Modelli generici metrici impiegate

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali

marmo di Carrara
marmo verde di Prato

Fase edilizia

2_Inizio XII secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato

1

Possibilità di reimpiego

1

EFFICIENZA DIGITALE = 1

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

- 1= da 1 a 15 minuti impiegati
- 2= da 15 a 45 minuti impiegati
- 3= oltre i 45 minuti impiegati

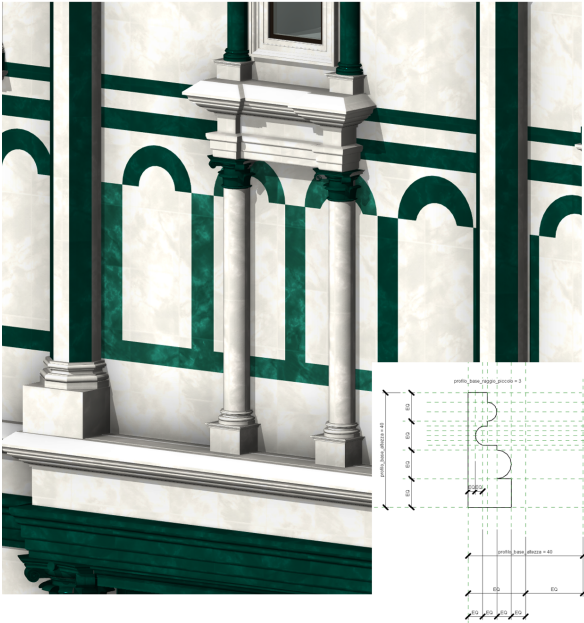
POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

- 0= senza possibilità di riutilizzo
- 1= possibilità di riutilizzo con modifiche
- 2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Giorgia Potestà

Oggetto digitale: **profilo base attica**



Tipologia di famiglia: **Profilo**

Parametro	Valore	Formula
Dimensioni		
profilo_base_altezza	40.00	=
profilo_base_raggio_piccolo	3.33	= profilo_base_altezza / 12

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate	Modelli generici metrici impiegate

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali	Fase edilizia

VALUTAZIONI

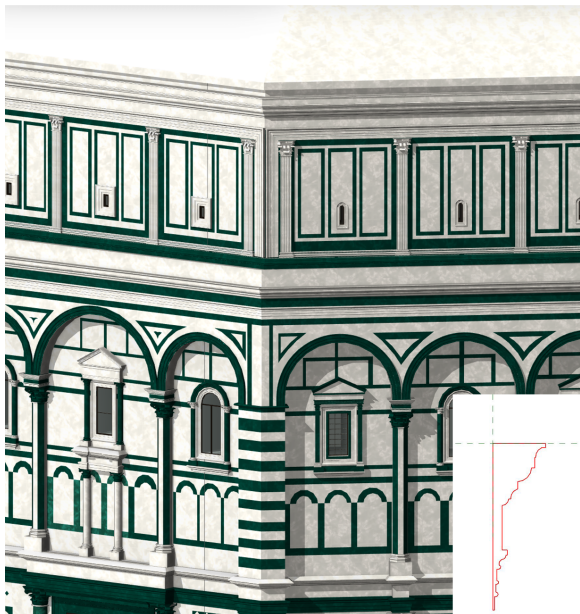
Tempo impiegato	Possibilità di reimpiego
1	2

EFFICIENZA DIGITALE = 2

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

<p>TEMPO IMPIEGATO: 1= da 1 a 15 minuti impiegati 2= da 15 a 45 minuti impiegati 3= oltre i 45 minuti impiegati</p>	<p>POSSIBILITA' DI REIMPIEGO: 0= senza possibilità di riutilizzo 1= possibilità di riutilizzo con modifiche 2= completa possibilità di riutilizzo</p>	<p>EFFICIENZA DIGITALE = $\frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$</p>
---	---	---

Oggetto digitale: **trabeazione secondo registro**



Tipologia di famiglia: **di Sistema**

Parametro	Valore
Vincoli	
Taglia il muro	<input type="checkbox"/>
Tagliata da inserti	<input type="checkbox"/>
Arretramento muri perimetrali di default	0,00
Costruzione	
Profilo	cornicione secondo registro : cornice secondo registro
Materiali e finiture	
Materiale	Marmo Carrara
Dati identità	
Sottocategoria di muri	Estrusione muro - Cornicione
Immagine tipo	
Nota chiave	
Modello	
Produttore	
Commenti sul tipo	
URL	
Descrizione	trabeazione del secondo registro
Descrizione assieme	
Codice assieme	
Contrassegno tipo	
Costo	

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate

Modelli generici metrici impiegate

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali

Fase edilizia

marmo di Carrara
marmo verde di Prato

2_Inizio XII secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato

Possibilità di reimpiego

1

1

EFFICIENZA DIGITALE = 1

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

- 1= da 1 a 15 minuti impiegati
- 2= da 15 a 45 minuti impiegati
- 3= oltre i 45 minuti impiegati

POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

- 0= senza possibilità di riutilizzo
- 1= possibilità di riutilizzo con modifiche
- 2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Giorgia Potestà

Oggetto digitale: **muro**

Tipologia di famiglia: **di Sistema**

Parametro	Valore
Costruzione	
Struttura	Modifica...
Ripiegatura agli inserti	Non ripiegare
Ripiegatura alle estremità	Nessuno
Larghezza	180.00
Funzione	Esterno
Griglia	
Retino a dettaglio basso	Tratteggio incrociato diagonale
Colore del retino a dettaglio basso	■ Nero
Materiale e finiture	
Materiale strutturale	Pietra, naturale simmetrica
Proprietà analitiche	
Coefficiente di scambio termico (U)	1.2954 W/(m²·K)
Resistenza termica (R)	0.7714 (m²·K)/W
Massa termica	337.98 kJ/K
Assorbimento	0.100000
Ruvidità	1
Basi identitiche	
Immagine tipo	
Nota chiave	
Modello	
Produttore	
Commenti sul tipo	
URL	
Descrizione	
Descrizione assieme	
Codice assieme	
Contrassegno tipo	
Resistenza al fuoco	
Costo	

Famiglia: Muro di base
 Tipo: Generico - Muratura 300 mm
 Spessore totale: 180.00 Altezza esempio: 600.00
 Resistenza (R): 0.7714 (m²·K)/W
 Massa termica: 337.98 kJ/K

LATO ESTERNO					
Funzione	Materiale	Spessore	Ripiegature	Materiale strutturale	
1 Contorno del nucleo	Strati sopra ripiegatura	0.00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Finitura 1 [4]	Marmo Carrara	8.00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Struttura [1]	Muratura	21.00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Struttura [1]	Pietra, naturale simmetrica	122.00		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5 Struttura [1]	Muratura	21.00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Finitura 1 [4]	<Per categoria>	8.00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Contorno del nucleo	Strati sotto ripiegatura	0.00		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate	Modelli generici metrici impiegate

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali	Fase edilizia
marmo di Carrara riempimento in pietra e laterizio muratura in pietraforte	1_Fine dell'XI secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato	Possibilità di reimpiego
1	0

EFFICIENZA DIGITALE = 0

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

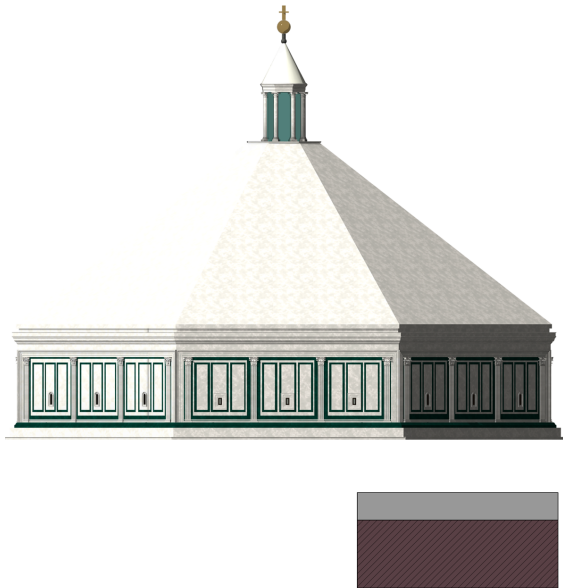
- 1= da 1 a 15 minuti impiegati
- 2= da 15 a 45 minuti impiegati
- 3= oltre i 45 minuti impiegati

POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

- 0= senza possibilità di riutilizzo
- 1= possibilità di riutilizzo con modifiche
- 2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Oggetto digitale: **tetto piramidale**



Tipologia di famiglia: **di Sistema**

Parametro	Valore
Costruzione	
Struttura	Modifica...
Spessore di default	28.00
Grafica	
Retino a dettaglio basso	
Colore del retino a dettaglio basso	■ Nero
Proprietà analitiche	
Coefficiente di scambio termico (U)	2.5128 W/(m²·K)
Resistenza termica (R)	0.3980 (m²·K)/W
Massa termica	41.36 kJ/K
Assorbimento	0.100000
Ruvidità	1
Dati identità	
Immagine tipo	
Nota chiave	
Modello	
Produttore	
Commenti sul tipo	
URL	
Descrizione	
Descrizione assieme	
Codice assieme	
Contrassegno tipo	
Costo	

Famiglia: Tetto di base
 Tipo: Tetto generico - 300 mm
 Spessore totale: 28.00 (Default)
 Resistenza (R): 0.3980 (m²·K)/W
 Massa termica: 41.36 kJ/K

Strati	Funzione	Materiale	Spessore	Ripiegature	Variabile
1	Contorno del nucleo	Strati sopra ripiegatura	0.00		
2	Finitura 1 [4]	Marmo Carrara	0.00		<input type="checkbox"/>
3	Struttura [1]	Mattoni, Comune	20.00		<input type="checkbox"/>
4	Contorno del nucleo	Strati sotto ripiegatura	0.00		

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate

Modelli generici metrici impiegate

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali

Fase edilizia

marmo di Carrara
muratura in mattoni

2_Inizio XII secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato

Possibilità di reimpiego

2

0

EFFICIENZA DIGITALE = 0

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

- 1= da 1 a 15 minuti impiegati
- 2= da 15 a 45 minuti impiegati
- 3= oltre i 45 minuti impiegati


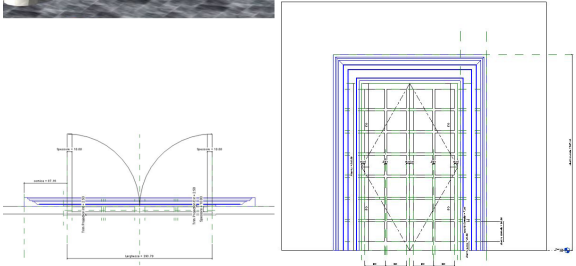
POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

- 0= senza possibilità di riutilizzo
- 1= possibilità di riutilizzo con modifiche
- 2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Giorgia Potestà

Oggetto digitale: **porta**

Tipologia di famiglia: **Caricabile**

Nome del tipo: 1830 x 2134mm

Parametri di ricerca

Parametro	Valore	Formula
Costruzione		
Funzione	Interno	=
Chiusura muro	Per host	=
Tipo di costruzione		=
Materiali e finiture		
Door Material	Door - Panel	=
Frame Material	Door - Frame	=
Dimensioni		
Spessore	10.00	=
Altezza	510.00	=
Trim Projection Ext	2.50	=
Trim Projection Int	2.50	=
Trim Width	7.60	=
Larghezza	293.70	=
Larghezza approssimativa		=
Altezza approssimativa		=
altezza formella (default)	60.00	=
altezza sotto (default)	28.00	=
altezza totale (default)	597.16	=
cornice (default)	87.16	=
profondità gradino (default)	15.73	=
spazio formelle (default)	7.50	=

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate	Modelli generici metrici impiegate
profilo_architrave_porta	

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali	Fase edilizia
legno bronzo dorato ferro	4_XIV-XV secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato	Possibilità di reimpiego
2	1

EFFICIENZA DIGITALE = 0.5

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

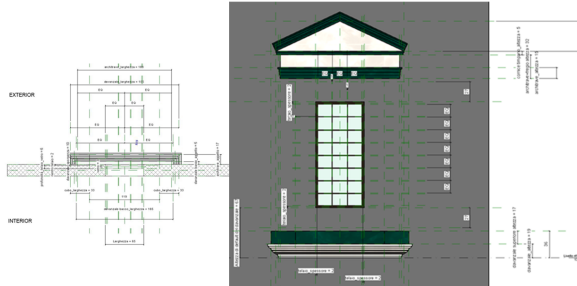
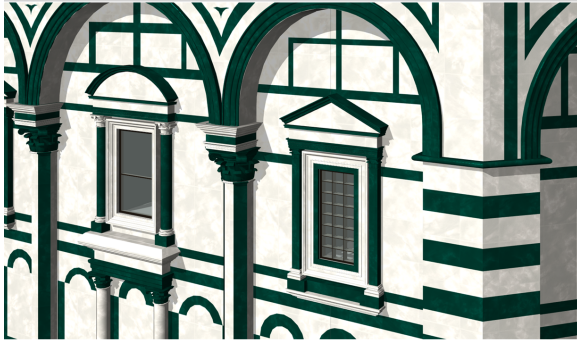
- 1= da 1 a 15 minuti impiegati
- 2= da 15 a 45 minuti impiegati
- 3= oltre i 45 minuti impiegati

POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

- 0= senza possibilità di riutilizzo
- 1= possibilità di riutilizzo con modifiche
- 2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Oggetto digitale: **finestra a timpano triangolare**



Tipologia di famiglia: **Caricabile**

Parametro	Valore	Formula
Costruzione		
Chiusura muro	Per host	=
Tipo di costruzione		=
Materiali e finiture		
Glass Pane Material	Glass	=
Sash	Sash	=
Trim Exterior Material	Trim	=
Trim Interior Material	Trim	=
Dimensioni		
Altezza	142.30	=
Larghezza	65.41	=
Larghezza approssimativa		=
Altezza approssimativa		=
Trim Projection - Ext.	1.30	=
Trim Projection - Int.	1.90	=
architrave_fregio_altezza	31.76	=
architrave_aggetto	16.91	=
architrave_altezza	14.76	=
architrave_larghezza	160.00	=
cornice_timpano_altezza	4.80	=
culo_larghezza	32.80	=
davanzale_basso_aggetto	4.91	=
davanzale_basso_larghezza	165.00	=
davanzale_superiore_altezza	17.35	=
davanzale_altezza	18.50	=
davanzale_larghezza	185.00	=
davanzale_sorgenza	9.91	=
estrusione_altezza	20.00	=
profondità_telaio_vetro	5.58	=
rientro_telaio	1.71	=
telaio_spessore	2.00	=
timpano_altezza	40.30	=
vetro	2.84	=
vetro_spessore	4.17	=

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate

profilo_architrave_finestra profilo_trabeazione
profilo_davanzale_finestra
profilo_cornice_timpano

Modelli generici metrici impiegati

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali

legno marmo di Carrara
ferro marmo verde di Prato
vetro

Fase edilizia

2_Inizio XII secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato

3

Possibilità di reimpiego

1

EFFICIENZA DIGITALE = 0.3

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

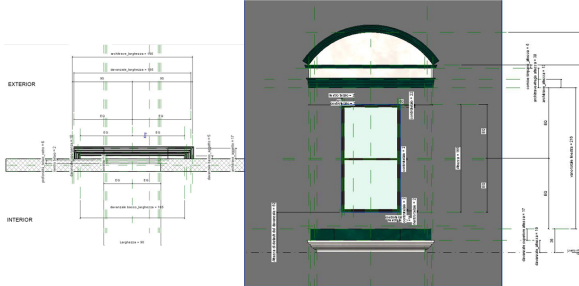
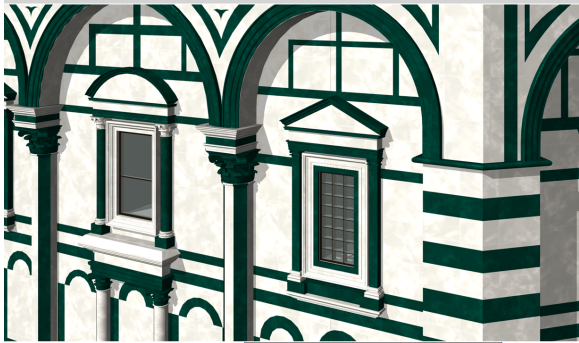
1= da 1 a 15 minuti impiegati
2= da 15 a 45 minuti impiegati
3= oltre i 45 minuti impiegati

POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

0= senza possibilità di riutilizzo
1= possibilità di riutilizzo con modifiche
2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Oggetto digitale: **finestra a timpano tondo**



Tipologia di famiglia: **Caricabile**

Parametro	Valore	Formula
Costruzione		
Chiusura muro	Per host	=
Tipo di costruzione		=
Materiali e finiture		
Glass Pane Material	Glass	=
Sash	Sash	=
Trim Exterior Material	Trim	=
Trim Interior Material	Trim	=
Dimensioni		
Altezza	165.00	=
Larghezza	90.00	=
Larghezza approssimativa		=
Altezza approssimativa		=
Trim Projection - Ext.	1.30	=
Trim Projection - Int.	1.90	=
architrave+fregio altezza	29.72	=
architrave_aggetto	16.91	=
architrave_altezza	12.72	=
architrave_larghezza	190.00	=
controlaio	2.36	=
cornice timpano_altezza	4.80	=
culo_larghezza	47.50	=
davanzale_basso_aggetto	4.91	=
davanzale_basso_larghezza	165.00	=
davanzale_superiore_altezza	17.35	=
davanzale_altezza	18.50	=
davanzale_larghezza	185.00	=
davanzale_sorgenza	9.91	=
estrusione_altezza	20.00	=
profondità_telaio_vetro	5.58	=
rientro telaio	2.00	=
telaio_spessore	0.58	=
timpano_altezza	50.00	=
vano totale finestra	216.43	=
vetro	2.84	=
vetro_spessore	4.17	=

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate	Modelli generici metrici impiegate
profilo_architrave_finestra profilo_trabeazione profilo_davanzale_finestra profilo_cornice_timpano	

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali	Fase edilizia
legno marmo di Carrara ferro marmo verde di Prato vetro	2_Inizio XII secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato	Possibilità di reimpiego
2	1

EFFICIENZA DIGITALE = 0.5

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

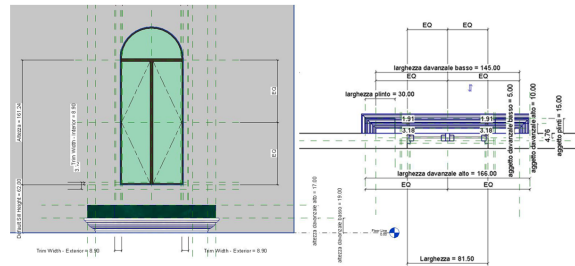
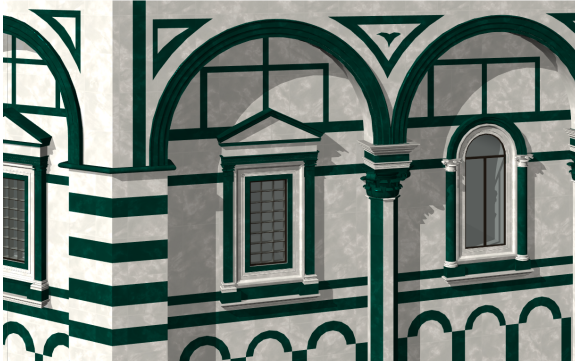
- 1= da 1 a 15 minuti impiegati
- 2= da 15 a 45 minuti impiegati
- 3= oltre i 45 minuti impiegati

POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

- 0= senza possibilità di riutilizzo
- 1= possibilità di riutilizzo con modifiche
- 2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Oggetto digitale: **finestra ad arco**



Tipologia di famiglia: **Caricabile**

Parametro	Valore	Formula
Costruzione		
Chiusura muro	Per host	
Tipologia di costruzione		
Materiali e finiture		
Glass Pane Material	Glass	
Sash		
Trim Exterior Material	Trim	
Trim Interior Material	Trim	
Dimensioni		
Altezza	161.24	
Default Sill Height	62.00	
Trim Projection - Ext.	1.30	
Trim Projection - Int.	1.90	
Trim Width - Exterior	8.90	
Trim Width - Interior	8.90	
Larghezza	81.50	
Window Inset	1.90	
Larghezza approssimativa		
Altezza approssimativa		
oggetto davanzale alto	10.00	
oggetto davanzale basso	5.00	
oggetto plinti	15.00	
altezza davanzale alto	17.00	
altezza davanzale basso	19.00	
larghezza davanzale alto	166.00	
larghezza davanzale basso	145.00	
larghezza plinto	30.00	

LEVEL OF GEOMETRY - LOG

Famiglie profilo impiegate

profilo_davanzale_finestra

Modelli generici metrici impiegati

LEVEL OF INFORMATION - LOI

Materiali

legno marmo di Carrara
ferro marmo verde di Prato
vetro

Fase edilizia

2_Inizio XII secolo

VALUTAZIONI

Tempo impiegato

2

Possibilità di reimpiego

2

EFFICIENZA DIGITALE = 1

* attribuzione dei punteggi per il calcolo dell'efficienza digitale

TEMPO IMPIEGATO:

1= da 1 a 15 minuti impiegati
2= da 15 a 45 minuti impiegati
3= oltre i 45 minuti impiegati

POSSIBILITA' DI REIMPIEGO:

0= senza possibilità di riutilizzo
1= possibilità di riutilizzo con modifiche
2= completa possibilità di riutilizzo

$$\text{EFFICIENZA DIGITALE} = \frac{\text{REIMPIEGO}}{\text{TEMPO}}$$

Architettura Monumentale ed HBIM. Il Bel San Giovanni come paradigma per la modellazione del patrimonio storico costruito.

Giorgia Potestà

Glossario

As built

Modello BIM che descrive un progetto rappresentando in maniera fedele la realtà; permette dunque la realizzazione di ogni sua parte in fase di cantiere. Comprende tutte le modifiche e le varianti che sono state eseguite al progetto originario durante la fase di realizzazione.

As is

Modello BIM che descrive lo stato di fatto di un edificio esistente, in maniera fedele alla realtà; favorisce dunque interventi di gestione, manutenzione e restauro fornendo tutte le informazioni necessarie. E' solitamente generato a partire dalle acquisizioni massive dei dati di rilievo.

BIM (Building Information Modeling)

Processo per l'ottimizzazione della pianificazione, realizzazione e gestione di costruzioni all'interno di un'unica piattaforma. Tramite esso tutti i dati rilevanti di una costruzione durante il suo ciclo di vita possono essere raccolti, combinati e collegati digitalmente. 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. Il Building Information Modelling viene utilizzato sia nel settore edile per la progettazione e costruzione (architettura, ingegneria, impianti tecnici) come anche nel facility management.

Clash Detection

Ricerca di possibili collisioni che generano criticità tra gli oggetti del modello. La clash detection permette di anticipare, in fase di progettazione, quelli che nella pratica si manifestano come "imprevisti di cantiere", dovuti appunto alle interferenze tra elementi, che comporterebbero la necessità di perizie di variante, un allungamento dei tempi e in genere un aumento della spesa.

Alla base di questo processo occorre predisporre (sul BEP) fin dalle fasi di pianificazione progettuale contratto di scambio da chiari che definiscano quali da dovranno essere condivisi ed in che modo farlo. I software per la revisione del progetto consentono di comparare i diversi modelli afferenti alle varie discipline e di segnalare le eventuali sovrapposizioni. Anche in questo caso vanno impostare dei limiti di tolleranza al fine di verificare se le interferenze siano tollerabili e quindi gestibili in cantiere. Le verifiche vengono eseguite su coppie di sistemi e qualora dalla verifica si riscontrassero delle interferenze, queste verranno evidenziate. È possibile, a questo punto, creare dei report con l'individuazione del problema riscontrato che poi verrà inviato al responsabile del modello che ne correggerà gli errori.

Database

Archivio dati in cui le informazioni in esso contenute sono strutturate e collegate tra loro e in modo tale da consentire una gestione/organizzazione efficiente e razionalizzata dei dati, e l'aggiornamento delle informazioni grazie a particolari applicazioni software dedicate (DBMS) permettendo lo svolgimento di ricerche complesse.

Dataset

Costituisce un insieme di dati strutturati in forma relazionale, cioè corrisponde al contenuto di una singola tabella di base di dati, oppure ad una singola matrice di dati statistici. Il termine dataset può essere usato anche più genericamente, per indicare i dati in un insieme di tabelle strettamente connesse, relative ad un particolare esperimento o evento.

Deep Learning

Campo di ricerca dell'apprendimento automatico (in inglese machine learning) e dell'intelligenza artificiale che si basa su diversi livelli di rappresentazione, corrispondenti a gerarchie di caratteristiche di fattori o concetti, dove i concetti di alto

livello sono definiti sulla base di quelli di basso. In altre parole, secondo la definizione dell'*Osservatorio Artificial Intelligence* del Politecnico di Milano, per apprendimento profondo si intende un insieme di tecniche basate su reti neurali artificiali organizzate in diversi strati, dove ogni strato calcola i valori per quello successivo affinché l'informazione venga elaborata in maniera sempre più completa. Tra le architetture di apprendimento profondo si annoverano le reti neurali profonde, la convoluzione di reti neurali profonde, le *Deep belief network*, e reti neurali ricorsive, che sono state applicate nella visione artificiale, nel riconoscimento automatico del discorso, nell'elaborazione del linguaggio naturale, nel riconoscimento audio e nella bioinformatica. In architettura e ingegneria l'apprendimento automatico viene utilizzato per operare una segmentazione semantica automatica della nuvola di punti in funzione di specifici obiettivi come la modellazione in ambiente BIM.

Famiglie

Definizione e raccolta di tutti gli elementi che è possibile inserire in un progetto BIM. Contengono la definizione geometrica dell'elemento ed i parametri utilizzati, controllano e definiscono ogni istanza dell'elemento stesso. Le piattaforme BIM authoring organizzano le famiglie in differenti categorie. Ogni famiglia viene catalogata per categoria, che consente di raggruppare e ordinare le famiglie nelle *Content Libraries* ma anche nel Browser di progetto, e ognuna ha degli attributi varianti, che possono essere espressi come tipi o come istanze. Le famiglie di sistema sono per definizione famiglie che vengono modellate direttamente all'interno del progetto specifico e vengono utilizzate per modellare elementi di costruzione di base, quali muri, tetti e pavimenti. Le famiglie caricabili sono famiglie che non vengono create specificatamente per un modello e vengono caricate nei modelli a seconda delle esigenze. Esse vengono utilizzate per creare componenti di costruzione, sono spesso ospitate da famiglie di sistema, e vengono modellate all'esterno del progetto specifico ma sempre all'interno della piattaforma BIM. Possono inoltre essere composte da altre famiglie caricabili, come famiglie di profilo o di modello generico metrico; in quel caso vengono definite famiglie nidificate. Le famiglie locali, infine, sono elementi personalizzati creati all'interno del modello; si utilizzano quando è necessario disporre di una geometria univoca che

non si prevede di riutilizzare.

GDL (Geometric Description Language)

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 (Geographic Information System)

Anche detto sistema informativo geografico o sistema informativo territoriale, è un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, registrazione, analisi, visualizzazione, restituzione, condivisione e presentazione di informazioni derivanti da dati geografici (geo-riferiti). È quindi un sistema informatico in grado di associare dei dati alla loro posizione geografica sulla superficie terrestre e di elaborarli per estrarne informazioni.

HBIM (Heritage/Historical Building Information Modeling)

Processo BIM applicato al patrimonio storico costruito.

ICT (Information & Communications Technology)

È un acronimo diffuso nel mondo dell'informatica per indicare il settore dell'informatica e la scienza dell'informazione. Il termine ICT significa letteralmente tecnologia dell'informazione e della comunicazione. È utilizzato soprattutto per indicare il settore economico delle aziende del terziario che offrono servizi di elaborazione automatica, trasmissione e di archiviazione delle informazioni tramite computer ed elaboratori elettronici. Il termine ICT è spesso utilizzato anche per riferirsi al forte legame instaurato fra la tecnologia e la possibilità di essere informati. In è talvolta indicato anche con l'acronimo TIC (Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione). L'ICT è un ambito di studio e di progettazione di sistemi basati sull'evoluzione dell'informatica, delle telecomunicazioni e della telematica. Si riferisce a tutto l'insieme delle tecnologie che hanno la funzione di elaborare e comunicare l'informazione tramite i mezzi digitali, il computer e

le tecnologie informatiche correlate (hardware e software), accessori e servizi per lo scambio delle informazioni. La comunicazione dell'informazione può essere realizzata in modo multimediale attraverso l'elaborazione del testo, del suono e delle immagini; ICT va a identificare tutti i settori correlati allo scambio di informazioni, compreso hardware, software e servizi accessori.

GPR (Ground Penetrating Radar)

Il georadar, noto anche come GPR, è una metodologia non invasiva utilizzata in geofisica, nello studio del primo sottosuolo, che si basa sull'analisi delle riflessioni di onde elettromagnetiche trasmesse nel terreno o da altre superfici alle quali viene applicata l'analisi. Tale metodo fornisce, a partire da una profondità di alcuni metri fino al limite di alcune decine di metri, una "sezione" del terreno indagato dalla superficie.

IFC

È un formato dati aperto, non controllato da un singolo operatore, nato per facilitare l'interoperabilità tra i vari operatori. Ha lo scopo di consentire l'interscambio di un modello informativo senza perdita o distorsione di dati o informazioni. L'IFC è stato progettato per elaborare tutte le informazioni dell'edificio, attraverso l'intero suo ciclo di vita, dall'analisi di fattibilità fino alla sua realizzazione e manutenzione, passando per le varie fasi di progettazione e pianificazione.

Si tratta di un formato file aperto, neutrale, non controllato da singoli produttori software, nato per facilitare l'interoperabilità tra i vari operatori. È stato progettato per elaborare tutte le informazioni dell'edificio, attraverso l'intero suo ciclo di vita, dall'analisi di fattibilità fino alla sua realizzazione e manutenzione, passando per le varie fasi di progettazione e pianificazione.

L'architettura IFC basa la propria struttura su: semantica, relazioni e proprietà.

Gli elementi sono pensati per descrivere i componenti di un edificio, come ad esempio: impianti, spazi, zone, arredo, elementi strutturali (pilastri, travi, pareti, solai, etc.), includendo le proprietà specifiche di ogni oggetto.

Grazie a questa suddivisione ad ogni oggetto è possibile associare determinate grandezze come ad esempio forma, costo, posizione, prestazioni energetiche, caratteristiche fisiche, etc. Tutti questi dati sono in genere codificati su uno dei tre for-

mati disponibili: ifc: formato di file predefinito basato sullo standard ISO-STEP; .ifcxml: codifica basata sul linguaggio XML; .ifczip: archivio compresso di uno di questi formati, che possono contenere anche materiale aggiuntivo, come PDF o immagini.

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 Development)

Ha il compito di definire con precisione il livello di approfondimento delle informazioni di varia natura che sono contenute all'interno del modello. Il termine LOD rappresenta il "Livello di definizione" (o Livello di sviluppo) che gli oggetti presenti nel modello BIM devono assumere nelle varie fasi della progettazione.

La definizione delle caratteristiche di ogni singolo LOD è un tema affrontato da diversi e importanti riferimenti normativi, italiani e soprattutto internazionali.

Il Livello di Sviluppo contiene dunque al suo interno sia gli attributi geometrici LOG che quelli informativi LOI, e aumenta di grado man mano che il progetto viene approfondito.

LOd (Level of Detail)

Descrive il livello di dettaglio della geometria dell'elemento modellato. Nel testo viene presentata la possibilità di indicare tre diversi livelli di riferimento per il livello di dettaglio, associati al livello costruttivo, funzionale e decorativo dell'architettura.

LOE (Level of Evolution)

Livello che esprime la rappresentazione delle fasi edilizie del modello e degli elementi modellati. Viene generalmente indi-

Giorgia Potestà

cato con sequenza numerica progressiva ed indica la sequenza temporale delle fasi di costruzione dell'edificio fino allo stato attuale (modello as is). Nella ricerca viene presentato come uno dei Livelli Tematici di un modello HBIM.

LOG (Level of Geometry)

Livello relativo agli attributi geometrici di un determinato elemento in funzione del suo LOD (Level of Development). Al Level of Geometry, quindi alla componente geometrica modellata dell'elemento, viene applicato il Level of Detail, ovvero il livello di definizione grafica dell'elemento.

LOI (Level of Information)

Livello relativo agli attributi informativi di un determinato elemento in funzione del suo LOD (Level of Development). Proprio gli attributi informativi LOI rendono chiara la distinzione tra LOD e LOD nel processo BIM.

LOR (Level of Reliability)

Livello che esprime il grado di affidabilità oggettiva dell'elemento modellato in funzione di determinati parametri quali le caratteristiche geometriche, i dati di rilievo e indagini, la validazione dell'elemento etc. Nella ricerca viene presentato come uno dei Livelli Tematici di un modello BIM, che da conto della rispondenza tra oggetto modellato ed oggetto reale.

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.

Model checking

Complesso delle operazioni di verifica del modello di progetto che termina con la validazione dello stesso.

Le verifiche da effettuare sul modello sono: Verifica Visiva: controllo della rispondenza del modello alle caratteristiche formali richieste e cioè la verifica dell'aderenza alle richieste progettuali impartite dalla committenza; Verifica Formale: verifica della correttezza della modellazione e della congruenza tra elementi; Verifica dei Requisiti Spaziali di Progetto: verifica con la quale si vanno ad indagare i specifici requisiti spaziali del progetto; Verifica dell'Interoperabilità:

è sempre bene introdurre la fase di verifica della rispondenza del modello ai requisiti di interoperabilità e cioè la rispondenza all'IFC e se richiesto dal committente al COBie. Queste verifiche garantiranno al destinatario del modello o dei modelli di poterli riutilizzare in futuro sia con l'evoluzione dei programmi che li hanno generati, sia con altri programmi; Verifica della Completezza dei Dati: confronto tra LOD (Level of Development) richiesto dai documenti contrattuali in una certa fase del progetto e la tipologia di informazioni contenute nel modello virtuale. La verifica di completezza dei dati dovrà essere eseguita prima di analisi specifiche.

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 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.

Ontologia

Una delle branche fondamentali della filosofia, è lo studio dell'essere in quanto tale, nonché delle sue categorie fondamentali.

In informatica, un'ontologia è una rappresentazione formale, condivisa ed esplicita di una concettualizzazione di un dominio di interesse. Più nel dettaglio, si tratta di una teoria assiomatica del primo ordine esprimibile in una logica descrittiva. Il termine ontologia formale è entrato in uso nel campo dell'intelligenza artificiale e della rappresentazione della conoscenza, 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 poi 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.

Rilevamento

Sistema di conoscenza che comprende la procedura di osservazione, misurazione, acquisizione dei dati con lo scopo di ottenere la massima oggettività e di conoscenza dell'organismo architettonico. Assume anche valore interpretativo in quanto tende a graficizzare la più vasta serie possibile di informazioni, raffigurando l'opera presa in esame nei suoi aspetti geometrici, strutturali, spaziali e di utilizzo. Discretizza l'elemento architettonico. 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

La scienza dei significati destinati a essere definiti e cristallizzati da parole significanti quando si tratti di nozioni o azioni, e dà segnali morfologici quando si tratti di rapporti sintattici. In filosofia, parte della logica diretta a determinare i limiti di un linguaggio corretto e rigoroso mediante l'analisi dei 'simboli' linguistici d'uso comune; in senso più ristretto, lo studio delle relazioni fra espressioni linguistiche e il mondo cui si riferiscono o che dovrebbero descrivere.

SfM (Structure from Motion)

E' una tecnica che utilizza una serie di immagini bidimensionali per ricostruire la struttura tridimensionale di una scena o di un oggetto. SfM può produrre modelli 3-D basati su nuvole di punti simili a LiDAR. Questa tecnica può essere utilizzata per creare modelli di superficie digitale ad alta risoluzione (inclusi modelli di elevazione digitale) e modelli di oggetti con fotocamere digitali di livello consumer. La tecnica relativamente nuova è stata resa possibile dai progressi nei computer, nelle fotocamere digitali e nei sistemi aerei senza pilota (UAS). Insieme, questi progressi hanno ora reso possibile per un'ampia gamma di utenti la possibilità di generare modelli 3-D senza una vasta esperienza o apparecchiature costose. Si basa sugli stessi principi della fotogrammetria stereoscopica. Nella stereofotogrammetria, la triangolazione viene utilizzata per calcolare le posizioni 3D relative (x, y, z,) degli oggetti da coppie stereo.

Per creare una ricostruzione 3-d sono necessarie semplicemente molte immagini di un'area o di un oggetto con un alto grado di sovrapposizione, prese da diverse angolazioni. La fotocamera non deve essere specializzata, le fotocamere standard di livello consumer funzionano bene per i metodi SfM. Le immagini sono spesso scattate da un sensore in movimento (ad esempio UAV), ma possono anche essere scattate da una persona o da più persone in posizioni e angolazioni diverse.

I pacchetti software specializzati possono identificare automaticamente le caratteristiche corrispondenti in più immagini. Queste caratteristiche distintive sono spesso angoli o segmenti di linea. Queste caratteristiche vengono tracciate da immagine a immagine e vengono utilizzate per produrre stime delle posizioni e degli orientamenti della telecamera e delle coordinate delle caratteristiche. Questo produce una nuvola di punti di coordinate x, y, z per gli elementi.

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.

TLS (Terrestrial Laser Scanning)

La scansione laser terrestre (TLS), nota anche come LiDAR terrestre (rilevamento della luce e portata) o LiDAR topografico, acquisisce le coordinate XYZ di numerosi punti sulla terra emettendo impulsi laser verso questi punti e misurando la distanza dal dispositivo al bersaglio.

Sostanzialmente ci sono 3 principi di misura con laser scanner, laser scanner TOF (a tempo di volo), laser scanner a differenza di fase e laser scanner a triangolazione.

Nei laser scanner TOF (Time Of Flight) si calcola la distanza misurando il tempo di andata e ritorno dell'impulso laser inviato. La tecnologia a tempo di volo permette di generare la nuvola di punti tramite il calcolo del tempo impiegato dal raggio laser a percorrere la distanza dell'emettitore al soggetto colpito e viceversa, sapendo che la velocità di propagazione del fascio laser è paritetica a quella della luce. Conoscendo l'angolo verticale e orizzontale dell'emissione del raggio, potremo definire le coordinate del punto misurato. Questi laser scanner si caratterizzano per l'abilità di rilevare dati molto distanti, arrivando addirittura a 6km di raggio. Nei laser scanner a differenza di fase la distanza è calcolata comparando la differenza di fase tra l'onda emessa e quella ricevuta; questa tecnica richiede delicati algoritmi di calcolo per generare le informazioni delle coordinate nello spazio. Questi laser scanner si caratterizzano per una velocità di acquisizione molto

rapida e per un'elevata densità di dato acquisito che può arrivare fino a 0,6mm tra un punto e l'altro ad una distanza di 10 metri. Nei laser scanner TOF ed a fase uno specchio prismatico esegue la scansione verticale mentre la rotazione sull'asse principale effettua la scansione orizzontale. A ogni impulso corrisponde una posizione angolare azimutale e zenitale per fornire per ogni riflessione ricevuta una tripletta di coordinate Alfa, Teta e Dist.

L'invio di impulsi laser con passi angolari costanti orizzontali e verticali, produce una griglia di misura regolare detta "foot print" dalla cui densità dipende la risoluzione del rilievo effettuato. All'interno del cono "foot print", viene rilevata la riflettanza media del punto per determinarne la distanza dalla sorgente. Esistono inoltre laser scanner 3D che montano una fotocamera digitale integrata che, dopo la fase di acquisizione dei dati geometrici, viene utilizzata attraverso procedure automatiche per l'acquisizione di immagini dello spazio rilevato. Le foto così acquisite saranno successivamente mosaicate dai software di elaborazione dei dati e applicate alle nuvole di punti per arricchirle delle informazioni di colore.

Tool

In informatica, piccolo programma di ausilio per attività specifiche, in genere fornito a corredo di pacchetti software.

Web semantico

Con il termine web semantico, termine coniato dal suo ideatore, Tim Berners-Lee, si intende la trasformazione del World Wide Web in un ambiente dove 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.

Con l'interpretazione del contenuto dei documenti che il Web semantico impone, saranno possibili ricerche molto più evolute delle attuali, basate sulla presenza nel documento di parole chiave, e altre operazioni specialistiche come la costruzione di reti di relazioni e connessioni tra documenti secondo logiche più elaborate del semplice collegamento ipertestuale.

WWW (World Wide Web)

È uno dei principali servizi di Internet, che permette di navi-

gare e usufruire di un insieme molto vasto di contenuti amatoriali e professionali (multimediali e non) collegati tra loro attraverso legami (link), e di ulteriori servizi accessibili a tutti o ad una parte selezionata degli utenti di Internet; questa facile reperibilità di informazioni è resa possibile, oltre che dai protocolli di rete, anche dalla presenza, diffusione, facilità d'uso ed efficienza dei motori di ricerca e dei web browser in un modello di architettura di rete definito client-server.

Bibliografia

Generale

BASTOGI, M., FRATINI F., 2004. Geologia, litologia, cave e deterioramento delle pietre fiorentine, in Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia, volume LXVI (2004), pp. 27-42.
Dlgs 50/2016 Nuovo Codice degli Appalti.

Sui Modelli

AUBIN, P. F., 2013. *Reinassance Revit, creating classical architecture with modern software*, Oak Lawn, USA, 2013.
Regola delli cinque ordini d'architettura di M. Iacomo Barozio da Vignola, Riproduzione a cura della Cassa di Risparmio di Vignola in occasione del suo primo centenario, Arti Grafiche Tamari in Bologna, 1974.
BRUSAPORCI, S., 2013. *Modelli complessi per il patrimonio architettonico - urbano*, Roma 2013.
DOCCI, M., CHIAVONI, E., 2017. *Saper leggere l'architettura*, Gius. Laterza & Figli, Bari 2017.
MALDONADO, T., 2015. *Reale e virtuale*, Universale economica Saggi, Giangiacomo Feltrinelli Editore, Milano 2015 (prima edizione 1994).
MIGLIARI, R., 1991. Il disegno degli ordini e il rilievo dell'architettura classica: Cinque Pezzi Facili, in *Disegnare Idee Immagini*, anno II, vol. 2, Roma 1991.
MIGLIARI, R., 2001. Geometria dei Modelli - Rappresentazione grafica e informatica per l'architettura e per il design, in *Nuovi quaderni di Applicazioni della Geometria Descrittiva*, Roma 2001.
TACCHI, G. L., 2014. Documentazione e conoscenza di complessi architettonici stratificati, Tesi di Dottorato di Ricerca - ciclo XXX, 2012 – 2014, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura.
VAGNETTI, L., 1979. *De naturali et artificiali perpesctiva*, *Studi e documenti di architettura* n. 9-10, Edizione della cattedra di composizione architettonica IA di Firenze e della L.E.F. (libreria editrice fiorentina, Firenze 1979).

Sulle Normative BIM nazionali ed internazionali

AEC (UK) BIM protocols.
Historic England, BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model, 2017.
BS-PAS 1192-2:2013.
BS-PAS 1192-3:2014.
BIM Toolkit.
CIC BIM Protocol:2013.
AIA ContractDocument G202-2013, Building Information ModelingProtocol Form.
AIA E203-2013, Building Information Modeling and Digital DataExhibit.
AIA G201-2013, Project Digital Data Protocol Form.
National BIM Standard UnitedStates- V3:2013(NBIMS-US).
National CAD Standard UnitedStates- V6:2014(NCS-US).
BIMforumLOD specification(2013-2016).
ISO (UNI-EN) 16739:2013, Industry Foundation Class (IFC).
ISO 12006:2007, International Framework for Dictionaries (IFD).
ISO 29841:2010, Information Delivery Manual (IDM).
ISO 19650:DIS2017 (Draft International Standard), Information Management (Parti 1 e 2).
UNI Norma Nazionale 11337 – 4:2017. Edilizia e opere di ingegneria civile – Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni, Milano 2017.

Sul BIM e l'HBIM

APOLLONIO, F. I., GAIANI, M., SUN, Z., 2013. “3D modeling and data enrichment in digital reconstruction of architectural heritage”, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W2, 2013 XXIV International CIPA Symposium, 2 – 6 September 2013, Strasbourg, France.
ATTENNI, M., 2019. “L'architettura romana al tempo del BIM”, in *3D modeling & BIM, modelli e soluzioni per la digitalizzazione*, EMPLER, T., FUSINETTI, A., (a cura di),

Roma, Facoltà di Architettura Sapienza Università di Roma, 18 - 19 Aprile 2019, pp. 274 - 291.

ATTENNI, M., 2019. *La struttura dei processi HBIM tra rilievo e modello. Scomposizione e ri-costruzione del patrimonio architettonico*, Tesi di Dottorato di Ricerca - ciclo XXX, 2015 – 2018, Sezione B – Disegno dell'architettura, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura.

BIANCHINI, C., NICASTRO, S., 2018. "La definizione del Level of Reliability: un contributo alla trasparenza dei processi historic – BIM", in 3D modeling & BIM, applicazioni e possibili sviluppi futuri, EMPLER, T., (a cura di), Roma, Facoltà di Architettura Sapienza Università di Roma, 18 - 19 Aprile 2018, pp. 209 – 225.

BIANCHINI, C., INGLESE, C., IPPOLITO, A., 2016. "Il contributo della Rappresentazione nel Building Information Modeling (BIM) per la gestione del costruito", in Disegnare Con, Le dimensioni del BIM, vol.9, n.16, Roma 2016.

BRUMANA, R., BANFI, F., CANTINI, L., PREVITALI, M., DELLA TORRE, S., 2019. "HBIM Level of Detail - Geometry - Accuracy and survey analysis for architectural preservation", in The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W11, 2019.

GEORES 2019 – 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, 8–10 May 2019, Milan, Italy

BRUSAPORCI, S., MAIEZZA, P., CENTOFANTI, M., TATA, A., RUGGIERI, A., 2019. "Per una riflessione teorico – metodologica sulla procedura HBIM di modellazione informativa dei beni architettonici", in RIFLESSIONI, l'arte del disegno/il disegno dell'arte, Unione Italiana Disegno, 41° Convegno internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione, Perugia, 19.20.21 settembre 2019.

BOSCARO, C., 2014. "Il rilievo 3D e la modellazione BIM degli edifici esistenti", in UID PARMA 2014 Italian survey & International experience, Parma 2014, pp. 127 – 134.

BRUSAPORCI, S., MAIEZZA, P., TATA, A., 2019. "Prime riflessioni sulla rappresentazione e parametrizzazione HBIM dell'apparecchiatura costruttiva storica", in EMPLER, T., FUSINETTI, A., (a cura di) *3D Modeling & BIM. Modelli e soluzioni per la digitalizzazione*, 2019, pp. 182-197.

CARNEVALI, L., LANFRANCHI, F., RUSSO, M., 2019. "Built Information Modeling for the 3D Reconstruction of

Modern Railway Stations", in Heritage an Open Access Journal by MDPI (2), pp. 2298–2310.

CAMPI, M., CERA, V., FARELLA, E., IOVANE, D., 2018. "Un catalogo semantico per la conoscenza e la ricostruzione del paesaggio incompiuto. Il caso di San Leucio", in Capano Francesca, Pascariello Maria Ines, Visone Massimo, Delli aspetti de paesi. Vecchi e nuovi media per l'immagine del paesaggio, 2018 (2), pp. 229-237.

CENTOFANTI, M., BRUSAPORCI, S., MAIEZZA, P., 2016. "Tra Historical BIM ed HERITAGE BIM: Bulding information modeling per la documentazione dei beni architettonici", in Re Uso 2016, Contributi per la documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico e per la tutela paesaggistica, PARRINELLO, S, BESANA, D., (a cura di), Firenze 2016.

CONTINENZA, R., GIANNANGELI, A., TRIZIO, I., TATA, A., 2016. "HBIM per il progetto di restauro: l'esempio della chiesa di San Cipriano a Castelvecchio Calvisio (L'Aquila)", in Disegnare Con, Le dimensioni del BIM, vol.9, n.16, Roma 2016.

CURRA', E., D'AMICO, A., ANGELOSANTI, M., 2019. "HBIM per la conoscenza e la rappresentazione della costruzione storica. Il caso di villa Palma – Guazzaroni a Terni", In GARDA, E., MELE, C., PIANTANIDA, P., (a cura di) *Colloqui.AT.e Ingegno e costruzione nell'epoca della complessità* atti del congresso Torino, 25-27 settembre 2019, Politecnico di Torino, pp. 628-637.

DEL GIUDICE, M., OSELLO, A., 2013. "BIM for Cultural Heritage", in The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL – 5/W2, 2019, pp. 225 – 229, XXIV CIPA International Symposium "Documenting the past for a better future", 2-6 September 2013,Strasbourg, France.

DI LUGGO, A., SCANDURRA, S., 2016. "La traduzione dal modello discreto al modello parametrico per la conoscenza del patrimonio architettonico nei sistemi HBIM", in Disegnare Con, Le dimensioni del BIM, vol.9, n.16, Roma 2016.

GAO, G., LIU, Y., LIN, P., WANG, M., GU, M., JUN-HAIYONG, J., 2017. "BIMTag: Concept-based automatic semantic annotation of online BIM product resources", in *Advanced Engineering Informatics*, 31, 2017, pp. 48-61.

GAROZZO, R., LO TURCO, M., SANTAGATI, C., 2019. "Modelli informativi e gestione della complessità per un pro-

- getto integrato di conoscenza”, in *Disegno*, n.4, Giugno 2019.
- INZERILLO, L., LO TURCO, M., PARRINELLO, S., SANMAIEZZA, P., 2019. “As-Built Reliability in Architectural Hbim Modeling”, in in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII – 2/W9, 2019, pp. 461 – 466, 27th CIPA International Symposium “Documenting the past for a better future”, 1-5 September 2019, Avila, Spain.
- MURPHY, M., MCGOVERN, E., PAVIA, S., 2013. “Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture”, in *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 76 (2013) 89–102.
- NICASTRO, S., 2018. *L'integrazione dei sistemi di Building Information Modeling nei processi di conoscenza del Patrimonio Culturale. Premesse teoriche, criteri metodologici e introduzione del Level of Reliability*, Tesi di Dottorato di Ricerca - ciclo XXX, 2014 – 2017, Sezione B – Disegno dell'architettura, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura.
- ORENI, D., BRUMANA, R., GEORGOPOULOS, A., CUCA, B., 2013. “Hbim for Conservation and Management of Built Heritage: Towards A Library of Vaults and Wooden Beam Floors”, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II – 5/W1, 2013, pp. 215 – 221, XXIV CIPA International Symposium “Documenting the past for a better future”, 2-6 September 2013, Strasbourg, France.
- ORENI, D., BRUMANA, R., DELLA TORRE, S., et al. 2014. “Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)”, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II – 5, 2014, pp. 267 – 273, XXV CIPA International Symposium “Documenting the past for a better future”, 23-25 June 2014, Riva del Garda, Italia.
- 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” in *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 367.
- QUATTRINI, R., BATTINI, C., MAMMOLI, R., 2018. “HBIM to Vr. Semantic awareness and data enrichment interoperability for parametric libraries of historical architecture”, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2, 2018 ISPRS TC II Mid-term Symposium “Towards Photogrammetry 2020”, 4–7 June 2018, Riva del Garda, Italy.
- ROSSI, A., PALMIERI, U., 2019. “LOD per il patrimonio architettonico: la modellazione BIM per la fabbrica di Solimene”, in *Disegno*, n.4, Giugno 2019.
- QUATTRINI, R., CLINI, P., NESPECA, R., RUGGERI, L., 2016. “Misura e Historical Information Building: sfide e opportunità nella rappresentazione di contenuti 3D semanticamente strutturati”, in *Disegnare Con, Le dimensioni del BIM*, vol.9, n.16, Roma 2016.
- ROSSI, A., PALMIERI, U., 2019. “LOD per il patrimonio architettonico: la modellazione BIM per la fabbrica di Solimene”, in *Disegno*, n.4, Giugno 2019.
- RUFFINO, P. A., PERMADI, D., GANDINO, E., OSELLO, A., HARON, A., WONG, C. O., 2019. “Digital technologies for inclusive cultural heritage: the case study of Serralunga d'Alba Castle”, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume IV – 2/W6, 2019, pp. 141 – 147, 27th CIPA International Symposium “Documenting the past for a better future”, 1-5 September 2019, Avila, Spain.
- SACCHI, L., 2016. “Il punto sul B.I.M.”, in *Disegnare Con, Le dimensioni del BIM*, vol.9, n.16, Roma 2016.
- SANTAGATI, C., VALENTI, G. M., 2016. “BIM e beni architettonici: verso una metodologia operativa per la conoscenza e la gestione del patrimonio culturale”, in *Disegnare Con, Le dimensioni del BIM*, vol.9, n.16, Roma 2016.
- SCIANNA, A., 2015. “Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della chiesa di SS. Sergio e Bacco in Roma”, in *Archeologia e calcolatori*, Supplemento 7, 2015, pp. 199 – 212.
- SPALLONE, R., PIANO, A., PIANO, S., 2016. “B.I.M. e beni architettonici: analisi e rappresentazione multiscalare e multidimensionale di un insediamento storico. Il caso studio di Montemagno, Borgo Nuovo piemontese”, in *Disegnare Con, Le dimensioni del BIM*, vol.9, n.16, Roma 2016.
- TUCCI, G., CONTI, A., FIORINI, L., CORONGIU, M., VALDAMBRINI, N., MATTA, C., 2019. “M-BIM: A new tool for the Galleria dell'Accademia di Firenze”, in *Virtual*

Archaeology Review, 10(21): 40-55, 2019.

VERDIANI, G., DONATO, V., PIANIGIANI, L. MARSUGLI, F., 2018. "Patrimonio costruito e BIM: il palazzo di Francesco de' Medici nella Fortezza Vecchia di Livorno fa un secondo passo nell'epoca digitale", in *Defensive Architecture of the Mediterranean*, Vol IX, Marotta, Spallone (a cura di), 2018 Politecnico di Torino, pp. 1117-1124.

YANG, X., LU, Y., MUTIYOSO, A., KOEHL, M., GRUSSENMEYER, P., 2019. "HBIM modelling from the surface mesh and its extended capability of knowledge representation", in *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2019, 8, X.

KREIDER, R. G., MESSNER, J. I., 2013. *The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM uses*, The Pennsylvania State University. University Park, PA, USA.

Sui Modelli Semantici

DE LUCA, L., VERON, P., STEFANI, C., FLORENZANO, M., 2011. "A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage", in *Computer & Graphics*, 35, 2011, pp. 227-241.

FALLAVOLITA, F., BALLABENI, M., FOSCHI, R., PERUGAIANI, M., APOLLONIO, F. I., CLINI, P., QUATTRINI, R., 2015. "A Mono-instrumental approach to High quality 3D Reality based semantic models. Application on the Palladio Library", in *Digital Heritage IEEE*, Granada 2015.

GARAGNANI, S., MANFREDINI A. M., 2013. "Parametric accuracy: Building Information Modeling Process applied to the cultural heritage preservation", in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W1, 2013 3D-ARCH 2013 - 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures, 25 – 26 February 2013, Trento, Italy.

GINI, G., 2015. "Semantic description of the three-dimensional models of Bologna porches", in *SCIRES.IT SCIENTIFIC RESEARCH and Information Technology Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione* Vol 5, Issue 1, 2015, 31-40.

GRILLI, E., 2019. *Metodi di classificazione automatica texture e geometry – based applicati ai Beni Culturali*, in *SIFET 2019*, pp. 1 – 9.

HICHRI, N., STAFANI, C., DE LUCA, L., VERON, P., 2013. "Review of the "as-built BIM" approaches", in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and*

Spatial Information Sciences, Proceedings of the 3DARCH 2013, Trento, Italy, 25–26 February 2013; Copernicus GmbH: Göttingen, Germany, 2013; Volume XL-5/W1, pp. 107–112. LO TURCO, M., CALVANO, M., GIOVANNINI, E. C., TOMALINI, A., 2020. "AIM! Algorithmic Information Modeling: New Strategies for a Fully Integrated Approach in the Field of Cultural Heritage", in *Bolognesi, c., Villa, d., (a cura di) From Building Information Modeling to Mixed Reality*, 2020, pp. 143 – 156.

MANFREDINI, A. M., REMONDINO, F., BALDISSINI, S., GAIANI, M., BENEDETTI, B., 2008. "3D modeling and semantic classification of archeological finds for management and visualization in 3D archeological databases", in *Proceedings of the 14th international conference on virtual systems and multimedia (VSMM)*, Cyprus, 2008, p. 221 – 8. MORBIDONI, C., PIEDRICCA, R., QUATTRINI, R., FRONTONI, E., 2020. "Graph Cnn with radius distance for semantic segmentation of historical buildings TLS point clouds", in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIV-4/W1-2020, 2020 3rd BIM/GIS Integration Workshop and 15th 3D GeoInfo Conference, 7–11 September 2020, London, UK.

REMONDINO, F., GRILLI, E., PETRUCCI, G., 2018. "Supervised segmentation of 3D cultural heritage", in *2018 3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) held jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM 2018)*, 2018, pp. 487-494.

SAMPIETRO, F., MASCIPIINTO, M. L., CINCOTTA, I. W. J., BERGONZONI, G., 2018. "Computational design nel processo HBIM", in: *3D Modeling & BIM 2018 Nuove Frontiere*, 2018. pp 318–333.

VALENTI, G. M., BAGLIONI, L., 2020. "Semantic and Procedural Approaches in Generative Modeling for the Representation of Cultural Heritage", In *DI NICOLANTONIO, M., ROSSI, E., ALEXANDER, T. (eds) Advances in Additive Manufacturing. Modeling Systems and 3D Prototyping. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 975. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20216-3_22.

Sul Rilevamento architettonico e la gestione dei dati.

- BIANCHINI, C., INGLESE, C., IPPOLITO, A., 2017. *I Teatri del Mediterraneo come esperienza di rilevamento integrato / The Theatres of Mediterranean as integrated survey experience*. Roma, Sapienza University Press, 2017.
- BIANCHINI, C., SENATORE, L. J., 2011. "Metodi speditivi per la visualizzazione ed esplorazione interattiva di nuvole di punti", in *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno e la modellazione dell'architettura e della città*, Ricerca PRIN 2011.
- Charter on the Preservation of Digital Heritage, 2003.
- CLINI, P., NESPECA, R., BERNETTI, A., 2013. "All in one laser scanning methods for surveying, representation and sharing information on archeology. Via Flaminia and the Furlo tunnel complex", in *International archives of photogrammetry, remote sensing and spacial information sciences*, 2013.
- HESS M., 2018. *Diagnostic Structural Health Assessment Through Layered Integration of Non-destructive Imaging Data*, A dissertation for the degree Doctor of Philosophy In Structural Engineering, University of California San Diego, 2018.
- PETROVIC, V., GIDDING, A., WYPYCH, T., KUESTER, F., DEFANTI, T. A., LEVY, T. E. (2011). "Dealing with archaeology's data avalanche", in *Computer*, 2011, pp. 56-60.
- Sul Battistero di San Giovanni**
- AA.VV., *Il bel San Giovanni e Santa Maria del Fiore. Il centro religioso di Firenze dal Tardo Antico al Rinascimento*, (a cura di D. Cardini), Firenze 1996.
- AA.VV., *Il battistero di San Giovanni a Firenze*, PAOLUCCI, A., (a cura di) "Mirabilia Italiae", , 2 voll., Modena 1994.
- BARTOLI, G., BETTI, M. MONICETTI, S., 2014. "Modellazine numerica ed analisi strutturale del Battistero di San Giovanni a Firenze", in GURRIERI, F. (a cura di) *Il battistero di San Giovanni a Firenze: atti delle conferenze propedeutiche al convegno internazionale di studi*, Firenze 2014, pp. 135-158.
- BEFANI, G. B., *Memorie storiche dell'antichissima basilica di San Giovanni battista di Firenze, raccolte dal sacerdote Gio Batta Befani battezziere della medesima nell'anno 1884*, Firenze 1884.
- BUSIGNANI, A., BENCINI, R., *Le chiese di Firenze. Ill Battistero di San Giovanni*, Firenze 1988.
- CALZECCHI, C., "Restauri esterni del Duomo, del campanile e del Battistero di Firenze", in *Palladio: rivista bimestrale di storia dell'architettura sotto gli auspici del sindacato nazionale fascista architetti*, ANNO IV (1940), pp. 131-136.
- DEGL'INNOCENTI, P., *L'architettura del Battistero fiorentino: progetto, appalto, costruzione, vicende*, Firenze 2017.
- DE WITT, A., *I mosaici del battistero di Firenze*, Firenze 1954.
- DEGL'INNOCENTI, P., 2014. "Misurare, disegnare conoscere: dai rilievi del San Giovanni alle ipotesi storico-costruttive", in GURRIERI, F. (a cura di) *Il battistero di San Giovanni a Firenze: atti delle conferenze propedeutiche al convegno internazionale di studi*, Firenze 2014, pp. 87-104.
- FEI, S., GOBBI SICA, G., SICA, P., *Firenze. Profilo di storia urbana. An outline of urban history*, Firenze 1995.
- FRUGONI, C., *Il Villani illustrato. Firenze e l'Italia medievale nelle 253 immagini del ms. Chigiano L VIII 296 della biblioteca vaticana*, Firenze 2005.
- GIUSTI, A. M., *Il battistero di San Giovanni a Firenze*, Firenze 2013.
- GALLI, E., *Dove sorse "il bel San Giovanni"*, Firenze 1916.
- GURRIERI, F., *Il battistero di San Giovanni: conoscenza, diagnostica, conservazione. Atti del convegno internazionale Firenze, 24 – 25 novembre 2014*, Firenze 2017.
- MENEGATTI P. F., *Studio critico storico archeologico sulle origini del Duomo di San Giovanni a Firenze*, Firenze 1922.
- MONNERET DE VILLARD, U., *Il battistero e le chiese romaniche di Firenze: 64 illustrazioni*, Firenze 1914.
- NARDINI DESPOTTI MOSPIGNOTTI, A., *Il duomo di San Giovanni oggi battistero di Firenze*, Firenze 1902.
- PIETRAMELLARA, C., *Battistero di San Giovanni a Firenze, rilievo e studio critico*, Firenze 1973.
- SAMPAOLESI, P., BUCCI, M., 1966. "Duomo e Battistero di Firenze", in *I tesori*, 10, Firenze 1966.
- SINISGALLI ROCCO, *Il battistero di Firenze*, Firenze 2000.
- TOKER, F., *Archaeological campaigns below the Florence Duomo and Baptistery, 1895 – 1980*, Firenze 2013.
- VERDON, T., *Il Duomo, il Battistero, il Campanile*, Firenze 2016.
- Riferimenti web**
- <https://www.ingenio-web.it/18667-sistema-dei-lod-italia-no-uni-11337-4-2017>.

<https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ITA/Revit-GetStarted/files/GUID-09A2439A-FDCB-4233-B08E-6F160D4296DE-htm.html>.

<https://www.01building.it/bim/lod-progettazione-bim/>.

<https://harpaceas.it/il-bim-e-il-concetto-di-dettaglio-e-lod/>.

<https://www.arup.com/expertise/services/buildings/building-information-modelling>.

<https://it.mathworks.com/solutions/image-video-processing/semantic-segmentation.html>.

<https://www.bimportale.com/progettare-hbim-caso-della-pi-nacoteca-cento/>.

<https://www.bimportale.com/il-rapporto-tra-geometria-ed-informazione-nel-modello-hbim/>.

<https://www.bimportale.com/la-traduzione-della-complessita-del-costruito-storico-nel-modello-hbim/>.

<https://bim.tre.digital/portfolio/54-rilievi/189-rilievo-bim-ossario-bassano-del-grappa>.

<http://biblus.acca.it/focus/ifc-cose-e-quali-sono-i-vantaggi/>.

<https://www.bimobject.com/it/product>.

<https://www.lynda.com/Revit-tutorials/Building-Tivoli-corner-columns/422095/454502-4.html>.

<https://toolkit.thenbs.com/>

<http://www.treccani.it/vocabolario/entasi/>

<http://innovance.it/it/index.html>